



Université Mohamed khider –Biskra
Faculté d'Architecture, de l'Urbanisme, de Génie Civil et de l'Hydraulique
Département de Génie civil et d'Hydraulique

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences & Technologies

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Voies & Ouvrage d'Art

Présenté et soutenu par :

SAKER Youcef

BELOUNNAR Brahim

**Les essais de contrôle de la qualité des
travaux du dédoublement de la RN46
sur 25 Km entre PK219 et PK244**

Encadreur : **Dr. KHELIFA Tarek**

Année universitaire : 2024-2025

Remerciements

Avant tout nous remercions DIEU le tout puissant de nous avoir donné la chance d'étudier, et nous avoir armé par la force, le courage et la patience afin d'accomplir cette mission de formation MASTER.

*Nous remercions bien fort Notre encadreur le **Dr. KHELIFA Tarek**, qui nous avez confié ce travail et l'avez suivie avec compétence et rigueur.*

Nous remercions nos amis ainsi que nos collègues de MASTER avec qui nous avons passé de bon moment.

On exprime ici notre gratitude aux personnes qui de près ou de loin ont contribué à l'établissement de cette mémoire.

Merci à toute et a tout ; que DIEU nous protège.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

À ma très chère mère, mon très cher père, mes chères sœurs et frères.

À mes tantes, mes oncles et à toute ma famille

A mes professeurs, en particulier à mon encadreur

Dr. KHELIFA Tarek qui m'ont encouragé, par leurs recommandations
m'ont aidé à construire ce travail.

*A mes amis étudiant **MASTER de la promotion 2025** sans exception.*

Que DIEU le tout puissant nous bénisse et nous protège

SAKER YOUSSEF

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

*Aux âmes de **mes parents** qui m'ont élevé et enseigné, à **mes frères, mes sœurs, à ma femme et mes enfants.***

A mes professeurs, en particulier à mon encadreur

***Dr. KHELIFA Tarek** qui m'ont encouragé, par leurs recommandations
m'ont aidé à construire ce travail.*

*A mes amis étudiant **MASTER de la promotion 2025** sans exception.*

Que DIEU le tout puissant nous bénisse et nous protège

BELOUNNAR BRAHIM

Résumé

Dans le cadre de notre projet de fin d'étude concernant les essais de contrôle de la qualité des travaux de dédoublement de la **RN 46** sur une distance de **25 km** entre les bornes kilométriques **Pk219 et Pk244**, nous avons concentré nos efforts sur la sélection de bons matériaux utilisées et une bonne qualité des travaux de réalisation afin que ce tronçon de route puisse assurer la sécurité et le confort des usagers.

Ce travail s'inscrit dans le cadre du projet de réalisation d'un dédoublement de la **RN 46**, sur une distance de **25 km**, entre les bornes kilométriques **Pk 219 et Pk 244**, mené par la Direction des travaux publics de la wilaya de Biskra.

Notre étude se présente comme suit :

- ❖ Définition des essais utilisés dans la structure routière, leur objectif, les moyens utilisés et la méthode de calcul pour chaque essai.
- ❖ Définir chaque couche de la structure routière en tenant compte des résultats à obtenir à partir des expériences réalisées dans la structure routière.
- ❖ Présentation de la route en construction **RN 46** et les résultats des essais qui lui ont été appliqués avec leur évaluation.

الخلاصة

في إطار مشروعنا للخروج الجامعي والذي يتعلق بمراقبة نوعية أشغال إنجاز إزدواجية الطريق الوطني **RN 46** على مسافة **25 كم**، بين النقطة الكيلومترية **219** والنقطة الكيلومترية **244**، حيث ركزنا جهودنا على اختيار المواد الجيدة المستعملة ووجودة الأشغال المنجزة حتى يمكن هذا الشطر من الطريق أن يضمن سلامة وراحة المستخدمين.

يأتي هذا العمل في إطار مشروع إنجاز إزدواجية الطريق الوطني **RN 46** على مسافة **25 كم**، بين النقطة الكيلومترية **219** والنقطة الكيلومترية **244**، تحت اشراف مديرية الأشغال العمومية لولاية بسكرة.

تُقدم دراستنا على النحو التالي:

- ❖ التعريف بالتجارب المعمول بها في بنية الطريق والهدف منها والوسائل المستخدمة وكيفية حساب كل تجربة.
- ❖ التعريف بكل طبقة من طبقات بنية الطريق مع الأخذ بعين الاعتبار النتائج التي يجب الحصول عليها من التجارب المعمول بها في بنية الطريق.
- ❖ عرض الطريق قيد الإنشاء رقم **46** ونتائج الاختبارات المطبقة عليه مع تقييمها.

SOMMAIRE

CHAPITRE I. PRESENTATION DU PROJET

I.1. Présentation de la wilaya de Biskra	01
I.2. Présentation de la RN 46 et du projet	02
I.3. Différentes couche d'une route et le corps de chaussée.....	03

CHAPITRE II. ESSAI DE CONTROLE DE GRANULOMETRIE

II.1. Généralité sur l'analyse granulométrique	06
II.2. La grave non traitée 0/31,5 « GNT »	11
II.3. La grave 0/20 pour la fabrication du grave bitume « GB ».....	19
II.4. La grave 0/14 pour la fabrication du béton bitumineux « BB ».....	25

CHAPITRE III. ESSAI D'IDENTIFICATION

III.1. Essai au bleu de méthylène d'un sol (Essai à la tache).....	28
III.2. Essai d'équivalent de sable	32
III.3. Essai des masses volumiques.....	34
III.4. Mesure du coefficient d'aplatissement	35

CHAPITRE IV. CONTROLE DE COMPACTAGE

IV.1. Généralités	36
IV.2. Essais Proctor	36
IV.3. Densitomètre à membrane	46
IV.4. Essai a la Plaque.....	48
IV.5. Gamma densimètre	50

CHAPITRE V. ESSAI DE CONTROLE DE DURETE ET D'USURE

V.1. Essai de Los Angeles.....	54
V.2. Essai Micro-Deval.....	57
V.3. Mesure du coefficient de friabilité des sables	61

CHAPITRE VI. ESSAI DE CONTROLE DES ENROBE ET DES BITUMES

VI.1. Essai d'extraction du bitume « Kuma-Gawa »	63
VI.2. Essai de hauteur au sable.....	66
VI.3. Essai de compacité et d'épaisseur	70
VI.4. Caractéristiques des liants	72
VI.5. Etude de formulation du béton bitumineux « BB » 0/14	76

CONCLUSION

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES

Introduction générale

Le contrôle de la qualité des matériaux utilisés dans l'industrie routière et leurs mises en œuvre constituent une tâche très importante pour la durée de vie de la route.

Nous nous intéressons dans notre projet de fin d'étude aux essais de contrôle et d'identification nécessaire pour la réalisation des terrassement, couche de fondation, couche de base et couche de roulement, en d'autre terme les principaux essais de contrôle utilisés pour la réalisation d'une route en Algérie et principalement dans la wilaya de Biskra.

Le **Grave Non Traités (GNT)** est une matière première nécessaire dans les corps de chaussées, comme couche de fondation nous utilisons la grave concassée la **(0/31,5)**, en premier lieu, nous vérifions si la granulométrie de ce matériau s'insère dans le fuseau de spécifications pour pouvoir l'utiliser, ainsi que d'autres essais.

Les essais d'identification des matériaux permettent la classification et la détermination des caractéristiques physiques. Nous avons réalisé un ensemble d'essais pour compléter certain caractère et informations sur la qualité des produits utilisés.

Le compactage des couches des matériaux est une des tâches les plus importants dans le contrôle et le suivi lors de la réalisation d'une route. Nous avons réalisé l'essai Proctor modifié sur un le **TVO** et **le GNT**. Pour le contrôle de compactage nous avons réalisé les essais de Gamma densimètre.

L'essai Los Angeles et Micro Deval permet d'apprécier la dureté d'un matériau. Nous avons réalisé des essais sur le gravier **3/8 - 8/15 et 15/25** nécessaire pour la fabrication du grave bitume **0/20**.

Le béton bitumineux **0/14** utilisé comme couche de roulement est un mélange de la grave **0/14** avec un pourcentage variable entre **5,15% et 5,55%** de bitume **40/50**. La reconstitution et la vérification de certain mélange utilisé dans les centrales d'enrobes par rapport aux fuseaux de référence est aussi une tâche important dans le contrôle de qualité.

Pour le contrôle de mise en œuvre de la couche de roulement en **GB 0/20**, nous avons vérifié la composition du **GB 0/20** à travers l'essai d'extraction **Kuma-Gawa**, le contrôle de compacité à travers l'essai de carottage et la pesée hydrostatique.

Chapitre I

PRESENTATION DU PROJET

I.1 – Présentation de la wilaya de Biskra :

La ville de Biskra se situe au sud-est de l'Algérie, (carte de l'Algérie), elle occupe après la création de la nouvelle **wilaya de Ouled Djellal** une superficie de **10 212 km²**, son altitude est de **112 mètre** au niveau de la mer, elle est caractérisée par un climat froid en hiver, chaud et sec en été.

La wilaya est limitée par :

- **Le nord** : wilaya de Batna.
- **Le sud** : wilaya de El-Meghaier et El-oued.
- **L'est** : wilaya de Khenchela.
- **L'ouest** : wilaya de M'Sila et Ouled-Djalel

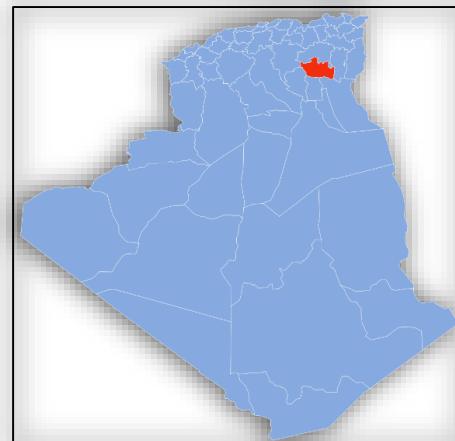


Fig. I-01 : Carte de situation de la W.de Biskra

- La ville de Biskra contient **10 daïras et 27 communes**.

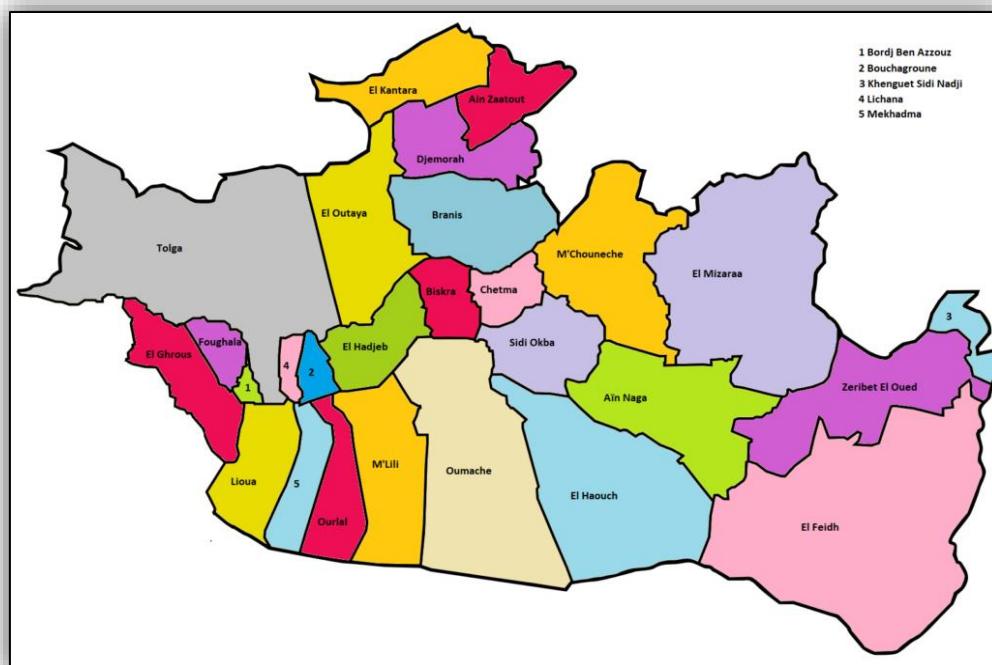


Fig. I-02 : Les communes de la wilaya de Biskra

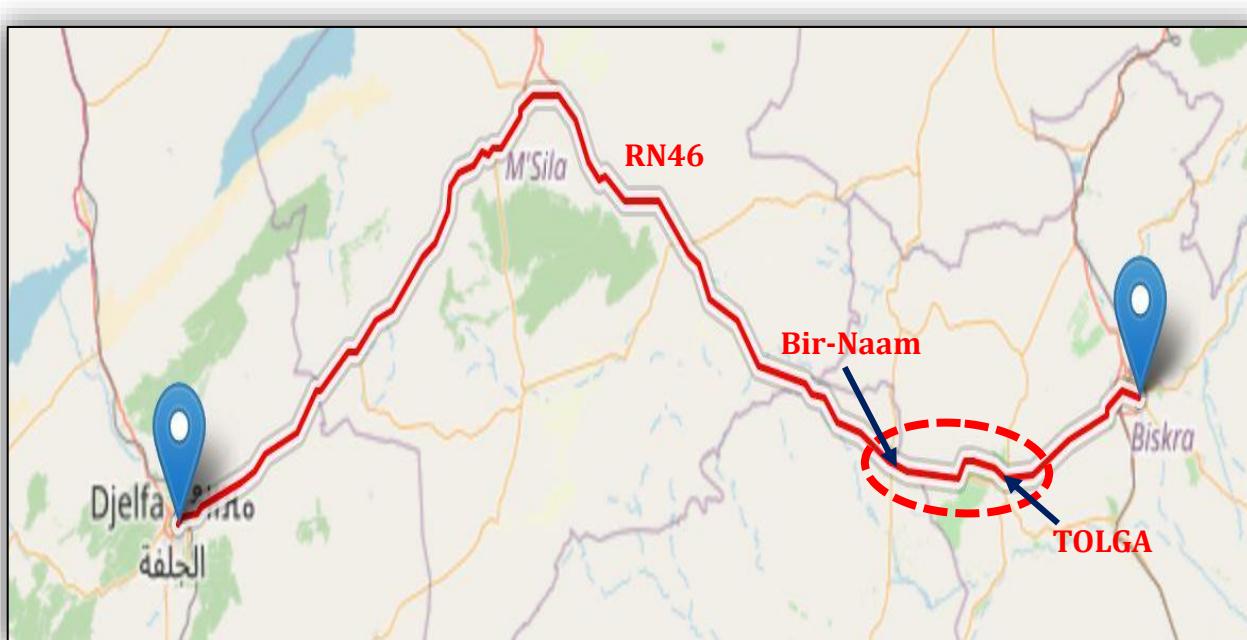
I.2 - Présentation de la RN46 et du projet :

La route nationale RN46 est une route qui relie la route nationale RN3 au niveau de la commune de Biskra et la route nationale RN1 au niveau de la commune de Djelfa sur une distance de 280 km.

La partie de la RN46 traversant le territoire de la wilaya de Biskra s'étend de la commune de Biskra jusqu'à la commune de Bir-Naam wilaya d'Ouled Djalel sur une distance de 60 km.

La route RN46 qui traverse la wilaya de Biskra a fait l'objet de travaux de doublement de voie, le tronçon reliant la commune de Biskra et la commune de Tolga sur une distance de 35 Km ou les travaux ont été achevé, tandis que le tronçon reliant la commune de Tolga et la commune de Bir-Naam wilaya de ouled djalel sur une distance de 25 Km ou les travaux ont été lancés en 2024.

Notre projet est les essais de contrôle de la qualité des travaux de dédoublement de l'axe reliant la commune de TOLGA à la commune de BIR NAAM sur une distance de 25 km sur la route RN46 qui débutera au niveau de PK 219 allant vers le point d'arrivée PK 244.



**Fig. I-03 : Tronçon du doublement de la RN46
sur une distance de 25 Km entre PK219 et PK244**

I.3 - Différentes couches d'une route « le corps de chaussée » :

Les chaussées se présentent comme des structures multicouches qui sont mises en œuvre pour répartir les charges induites par le trafic que le sol support seul ne pourrait pas soutenir.

Une chaussée routière se présente comme une structure composite réalisée par empilements successifs de couches de matériaux granulaires, le tout reposant sur un sol support.

Le sol support est généralement surmonté d'une **couche de forme** pour former un ensemble appelé plate-forme support de chaussée. Cette dernière sert de support au corps de chaussée. Pendant la phase de travaux, la couche de forme a pour rôle d'assurer une qualité de nivellation permettant la circulation des engins pour la réalisation du corps de chaussée. Vis-à-vis du fonctionnement mécanique de la chaussée, la couche de forme permet d'augmenter la capacité portante de la plate-forme support de chaussée.

Les couches d'assise sont généralement constituées d'une **couche de fondation** surmontée d'une **couche de base**. Elles apportent à la structure de chaussée l'essentiel de sa rigidité et répartissent (par diffusion latérale) les sollicitations, induites par le trafic, sur la plate-forme support afin de maintenir les déformations à ce niveau dans les limites admissibles.

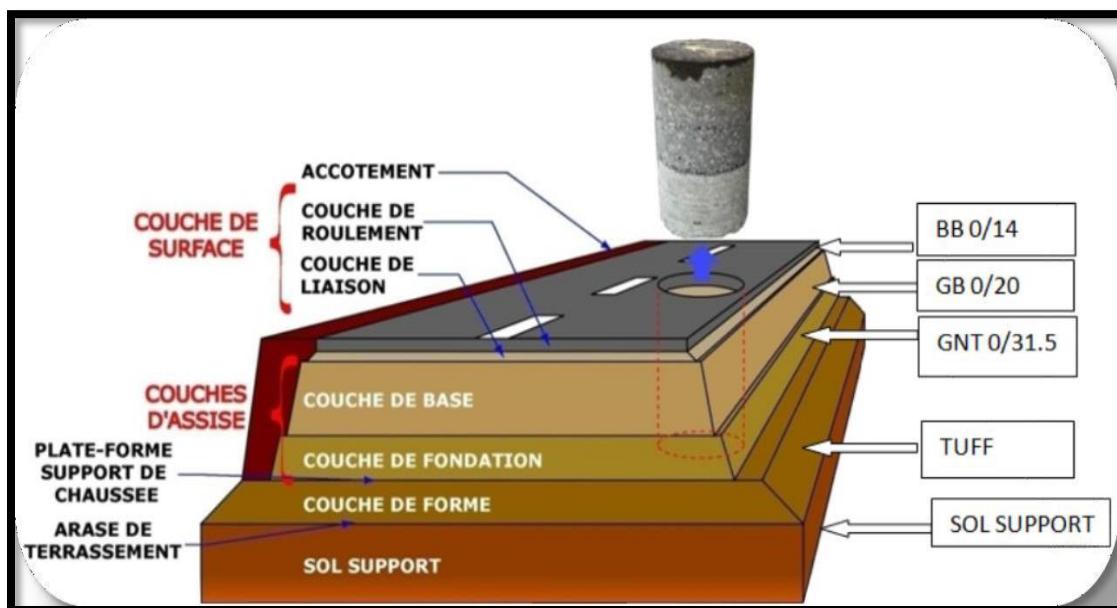


Fig. I-04 : Différente couche du corps de chaussée

La couche de surface est formée d'une **couche de roulement** surmontant éventuellement une **couche de liaison** intermédiaire. La couche de roulement assure la fonction d'étanchéité des couches d'assise vis-à-vis des infiltrations d'eau et des sels de dé verglaçage, et à travers ses caractéristiques de surface, elle garantit la sécurité et le confort des usagers.

Concernant notre projet du dédoublement de la **RN 46 sur 25 Km entre PK 219 et PK244**, le corps de chaussée composé des couches suivantes :

- ❖ Couche de roulement (BB) « **06 cm** »
- ❖ Couche de basse (GB) « **16 cm** »
- ❖ Couche de fondation « **20 cm** »
- ❖ Couche de forme « **30 cm** »
- ❖ Fond de la forme « **Selon l'étude géotechnique** »

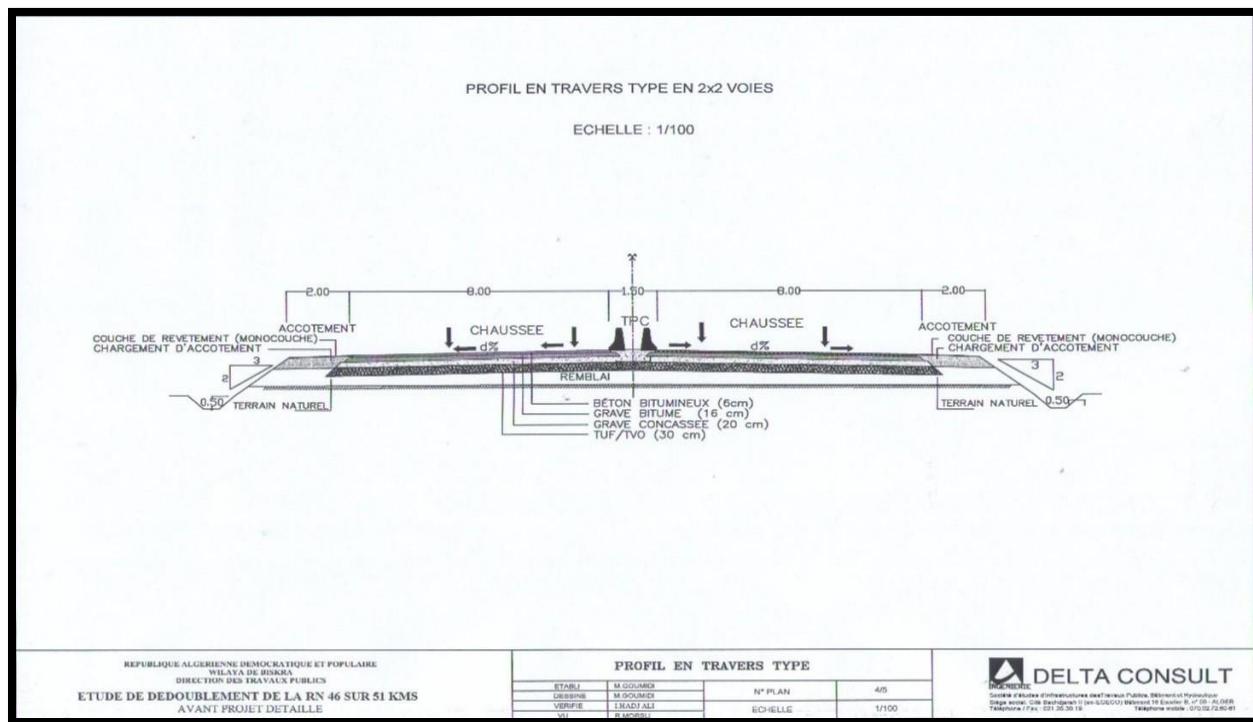


Fig. I-05 : Profil en travers du doublement de la RN46

Photos de visite de chantier du doublement de la RN46



Photo I-01 : démarrage des travaux - TOLGA



Photo I-02 : Travaux de terrassement

Chapitre II

**ESSAI DE CONTROLE DE
GRANULOMETRIE**

II.1. Généralité sur l'analyse granulométrique « NF P 94 - 056 » :

II.1.1. Définitions :

- ❖ **Tamis** : un instrument utilisé pour séparer et classer les particules solides d'un matériau en fonction de leur **taille**.
- ❖ **Refus** : c'est la partie retenue par le tamis.
- ❖ **Le tamisât** : c'est la partie qui traverse le tamis.



Photo II-01 : Tamis

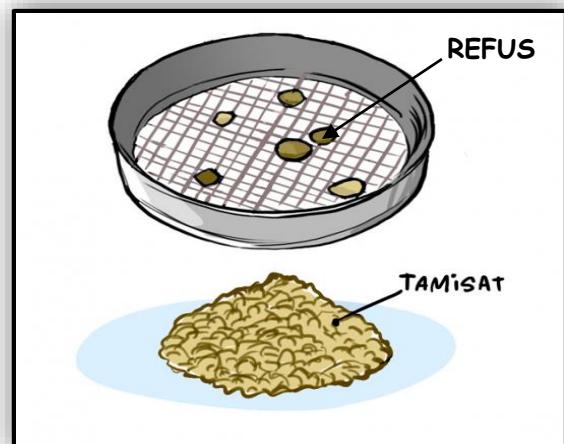


Photo II-02 :
Présentation du refus et du tamisât

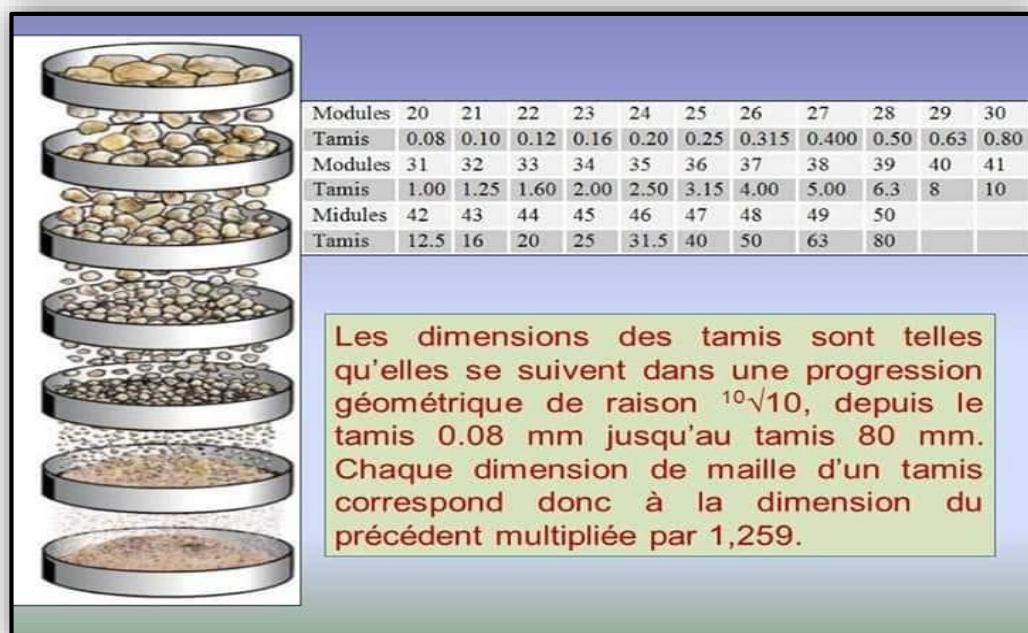


Photo II-03 : Série des tamis

II.1.2. But de l'essai :

L'analyse granulométrique a pour but de déterminer les proportions pondérales des grains de différentes tailles dans le sol, elle s'effectue par :

- 1) **Tamisage** (tamis à maille carrée) pour les grains de diamètre supérieur à **80 μ mm**, il se fait par deux méthodes, tamisage par **voie sèche** ou tamisage par **voie humide**.
- 2) **La séimentométrie** pour les grains plus fins inférieurs à **80 μ mm**.

II.1.3. Tamisage par voie sèche :

II.3.1. Principe de l'essai :

Le principe de cette manipulation consiste à prendre un échantillon de sol séché au préalable et de le verser dans une colonne de tamis dont les tamis sont classés dans l'ordre croissant des ouvertures de bas en haut. La pesée des refus des tamis permet de tracer la courbe granulométrique.

II.1.3.2. Appareillage :

- ❖ Une série de tamis emboîtables dont les dimensions sont présentées ultérieurement.
- ❖ Un dispositif de lavage avec arroseur et éventuellement de malaxage.
- ❖ Balance dont les portées maximales est minimales sont compatibles avec les masses à peser.
- ❖ Etuve, Spatule, pinceau, main écope, bacs.



Photo II-04 : Préparation de matériels



Phot II-05 : Début de l'essai en laboratoire

II.1.3.3. L'échantillonnage :

Avant de procéder à l'essai d'analyse granulométrique, il est essentiel d'obtenir un échantillon représentatif du matériau. Voici les principales méthodes d'échantillonnage utilisées :

II.1.3.3.1. Quartage :

Il consiste à diviser un tas de matière en quatre quartiers, puis à rejeter deux quartiers opposés, et à mélanger les deux autres pour obtenir un sous-échantillon

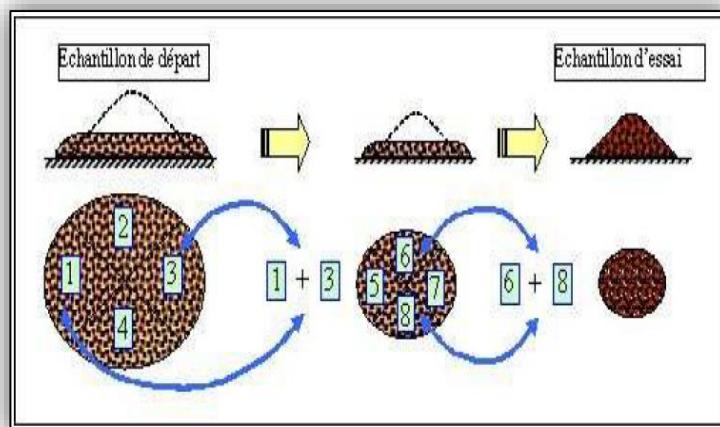


Photo II-06 : Méthodes d'échantillonnage « Quartage »

II.1.3.3.2. Diviseur d'échantillons :

Les diviseurs, souvent utilisés pour les matériaux solides, divisent l'échantillon en deux portions égales grâce à une chute contrôlée.



Photo II-07 : Diviseur d'échantillons

II.1.3.4. Préparation de l'échantillon :

- ❖ Prélèvement de l'échantillon de telle manière à avoir une faible quantité représentative, il est recommandé de se prendre une masse important pour que l'échantillon soit représentatif où :
- ❖ **m** est la masse sèche de l'échantillon exprimé en grammes.
- ❖ **D** est la dimension maximale exprimée en millimètres des plus gros éléments.
- ❖ L'essai s'effectue sur le matériau à la teneur en eau à laquelle se trouve à l'état humide naturel.
- ❖ On prélève deux échantillons représentatifs du matériau :
 - 1) L'un des échantillons soumis à l'essai est pesé **m_b**
 - 2) L'autre échantillon est utilisé pour déterminer la teneur en eau **W** suivant la méthode normalisée retenue.

II.1.3.5. Calculs :

Après le tamisage, les masses des différents refus cumulés **R_i**, sont rapportées à la masse totale sèche de départ **m_{d1}** et les pourcentages de refus cumulés sont obtenus par :

Les pourcentages de tamis correspondant sont égaux :

$$\left(\frac{R_i}{m_d} \right) \times 100$$

II.1.3.6. Courbe granulométrique :

$$100 - \left(\frac{R_i}{m_d} \right) \times 100$$

Les pourcentage des refus cumulés , ou ceux des tamis correspondants cumulés, sont représentés sous la forme d'une courbe granulométrique en portant , les ouvertures des tamis en abscisse sur une échelle semi-logarithmique de façon à donner une représentation plus précise des particules fines (qui influent énormément sur le comportement des sols), et les **pourcentages en ordonné**, sur une échelle arithmétique .

II.1.4. Interprétation des courbes :

Soit **D_x** le diamètre pour lequel le tamisât est de x % (ex : **D₃₀**= diamètre du tamis pour lequel on obtient 30 % de passant), on définit alors les caractéristiques de la courbe granulométrique suivantes :

1. Le coefficient de Hazen (coefficient d'uniformité) CU : $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$

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

- ❖ La granulométrie est dite continue : $1 < C_u < 4$;
- ❖ La granulométrie est dite discontinue : $C_u < 1$ ou $C_u > 4$

2. – Le coefficient de courbure CC :

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

Ce coefficient vient en complément de C_u dans la classification des sols LCPC afin de déterminer si la granulométrie est bien graduée ou mal graduée (un sol est mal gradué si une fraction de grains prédomine).

➤ **A noter :** Un sol est bien gradué s'il est **compris entre 1 et 3**

❖ **Courbe Continue :**

On dit qu'une courbe est continue lorsque si entre deux granulats élémentaires consécutifs présents, il manque au plus 3 granulats élémentaires.

❖ **Courbe discontinue :**

On dit qu'une courbe est discontinue lorsque si entre deux granulats élémentaires consécutifs présents, il manque plus de 3 granulats élémentaires (tamis normalisés successifs).

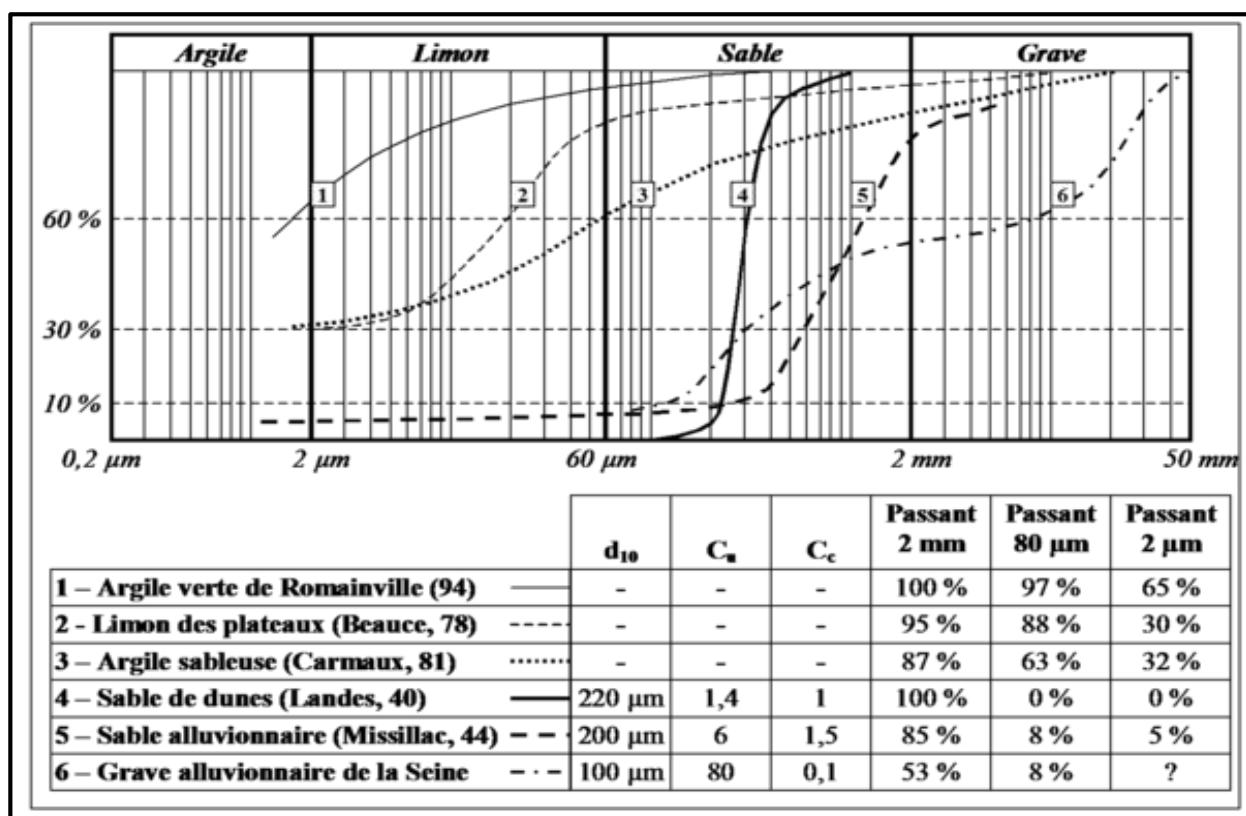


Fig. II-01 : Quelques exemples de courbes granulométriques

II.2. La grave non traitée 0/31,5 « GNT » - « NF P 98-129 » :

II.2.1. Définition :

La GNT « Graves Non Traitées » est un matériau granulaire naturel ou recyclé, constitué d'un mélange de graviers, sables et fines, utilisé sans ajout de liant hydraulique ou bitumineux, elle est généralement utilisée en infrastructure routière, notamment en couches de forme, de fondation ou de base.



Photo II-8 : La GNT « Graves Non Traitées » 0-31,5

On distingue deux types de GNT suivant leur mode d'élaboration :

II.2.1.1. Les GNT de type (A) : sont des matériaux naturels ou peu modifiés :

- Issues directement de carrières,
- Peu ou pas de traitement mécanique (concassage léger),

Exemples : graves naturelles roulées ou légèrement concassées.

II.2.1.2. Les GNT de type (B) : sont de matériau traitées mécaniquement ou recyclées.

- Subissent un traitement plus poussé (concassage, criblage),
- Peuvent provenir de matériaux recyclés (béton concassé, grave bitume recyclée),
- Granulométrie plus contrôlée

II.2.2. Spécification :

II.2.2.1. Caractéristique physico-mécanique

- 1) Granulométrie :** Les courbes granulométrique doivent s'inscrire dans le fuseau de spécification 0/31.5 définis ci-dessous :

Tamisât	40	31.5	20	10	6.3	4	2	0.5	0.2	0.08
Tamisât (%) « Min »	100	85	62	40	31	25	18	10	6	4
Tamisât (%) « Max »	100	99	90	70	60	52	43	27	18	10

Tableau II-01 : Fuseau de spécification de 0/31.5 (grave non traitées –sableuse)

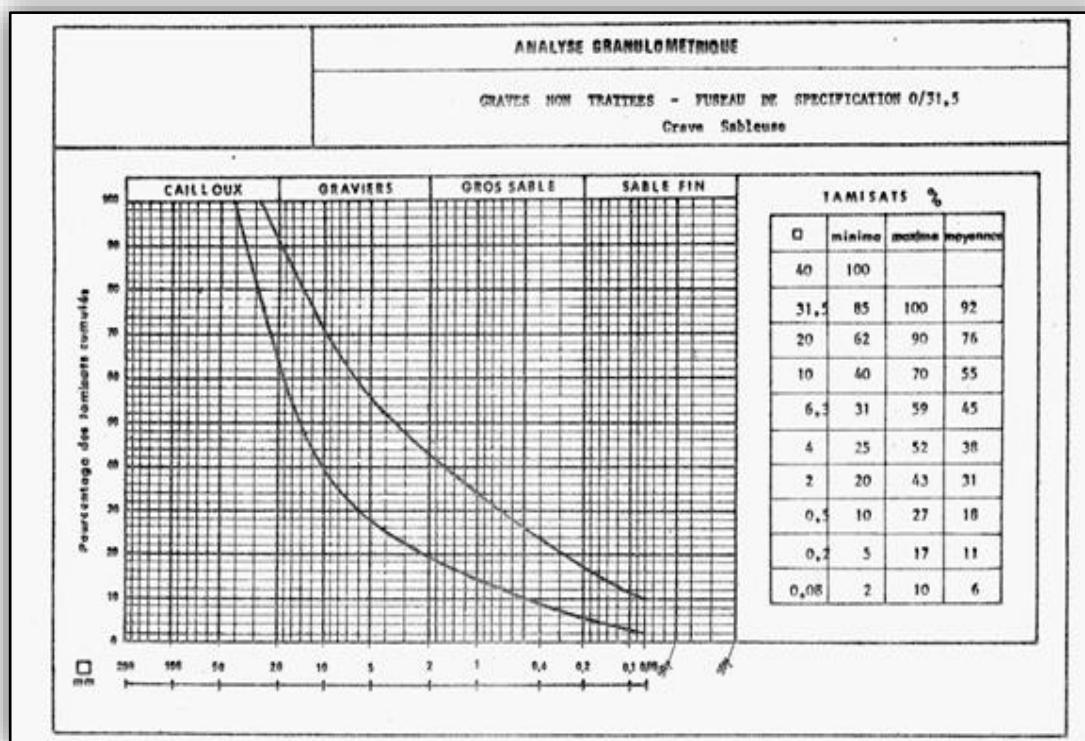


Fig. II-02 : Fuseau de spécification 0/31.5 (grave non traitées –sableuse)

- 2) **Propreté :** ES a 10% FINES $\geq 40\%$ et VB ≤ 2
- 3) **Angularité :** les coefficients d'aplatissement : A $\leq 30\%$
- 4) **Indice de concassage :** Ic = 100%
- 5) **Dureté :** LA $\leq 30\%$ & MDE $\leq 25\%$: Couche de base.
LA $\leq 40\%$ & MDE $\leq 35\%$: Couche de fondation.

II.2.3. Mise en œuvre :

II.2.3.1 Epandage :

- ❖ Utiliser des engins produisant peu de ségrégation (épandeuse, finisseur, niveleuse) ;
- ❖ Faire respecter une utilisation correcte des engins de replantage
- ❖ Lorsqu' ils comportent une lame de réglage :
 - ❖ Lame de l'engin travaillant à pleine charge et disposée le plus perpendiculairement possible par rapport à la direction de progression de l'engin ;
 - ❖ Limitation du nombre de passes d'engin ;
 - ❖ Replantage des granulats convenablement humidifiés dans la masse.

II.2.3.2. Humidification :

- ❖ L'arrosage lorsque il est nécessaire, peut être exécuté au cours du réglage ou sur un matériau ayant déjà subi un premier compactage.
- ❖ Ce dernier doit intervenir avant la fin du compactage. la teneur en eau de mis en œuvre doit être comprise dans l'intervalle « $W_{Opm} -1$ » & « $W_{Opm} +0.5$ »

II.2.3.3. Compactage :

Le compactage doit être réalisé de façon énergétique, pour cela utilisé :

- ❖ Les compacteurs vibrants ayant une « masse / cm » de génératrice vibrante « $M1/L \geq 30 \text{ Kg}$ ».
- ❖ Les compacteurs à pneumatique de **3 Tonne** par roue au moins.
- ❖ Pression de gonflage de **4 bars à 7 bars**.

➤ **A noter** : la fiche technique des performances des engins de compactage doit être exigée

II.2.3.4. Epaisseur de la couche :

Les seuils technologiques après compactage, en une seule couche sont :

- ❖ Epaisseur minimale = 15 cm
- ❖ Epaisseur maximale = 25 cm



Photo II-09 : Compactage couche de fondation « GNT 0/31,5 »

II.2.3.5. Contrôle :

❖ **Avant la fabrication :**

- Contrôle du matériel de la chaîne de fabrication,
- Contrôle l'installation et le réglage initial de la centrale pour la GNT de type (B).

❖ **En cours de fabrication :**

- Contrôle l'alimentation de concasseur,
- La charge des cribles,
- La qualité de la production (**Granularité, LA, MDE, ES, VB, teneur en eau**)
- La charge et stockage des matériaux.

❖ **Contrôle de mis en œuvre :**

Il s'agit de vérifier que :

- Les modalités définies lors des **planches d'essai** sont bien appliquées.
 - ❖ La qualité du compactage est considérée satisfaisante lorsque : $\gamma_d \geq 92\% \text{ de } \gamma_{dref}$

II.2.3.6. Les fuseaux des références :

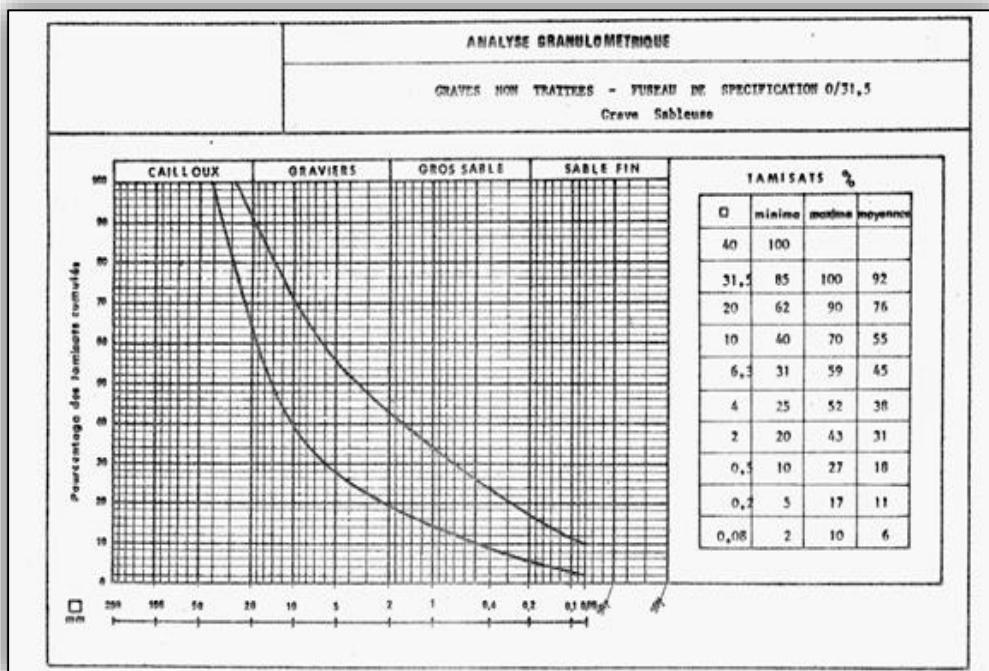


Fig. II-03 : Fuseau de spécification 0/31.5 (grave non traitées – sableuse)

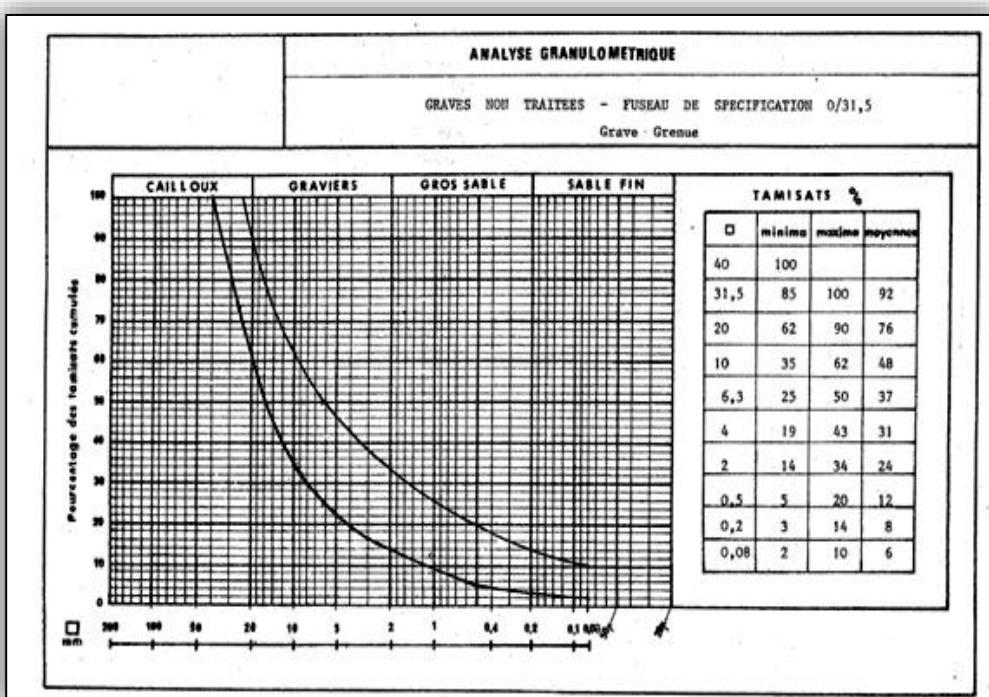


Fig. II-04 : Fuseau de spécification 0/31.5 (grave non traitées - grenue)

II.2.3.7. Exemples des essais effectués au laboratoire LMTPB :

❖ Tout Venant Naturel « TVN » :

Le **TVN** provenant de **gisement PK 240** est un matériau qui a été sélectionné pour être utilisé dans la **couche de forme** et parfois dans la **couche de remblai**, selon l'étude géotechnique qui a indiqué le niveau du bon sol.

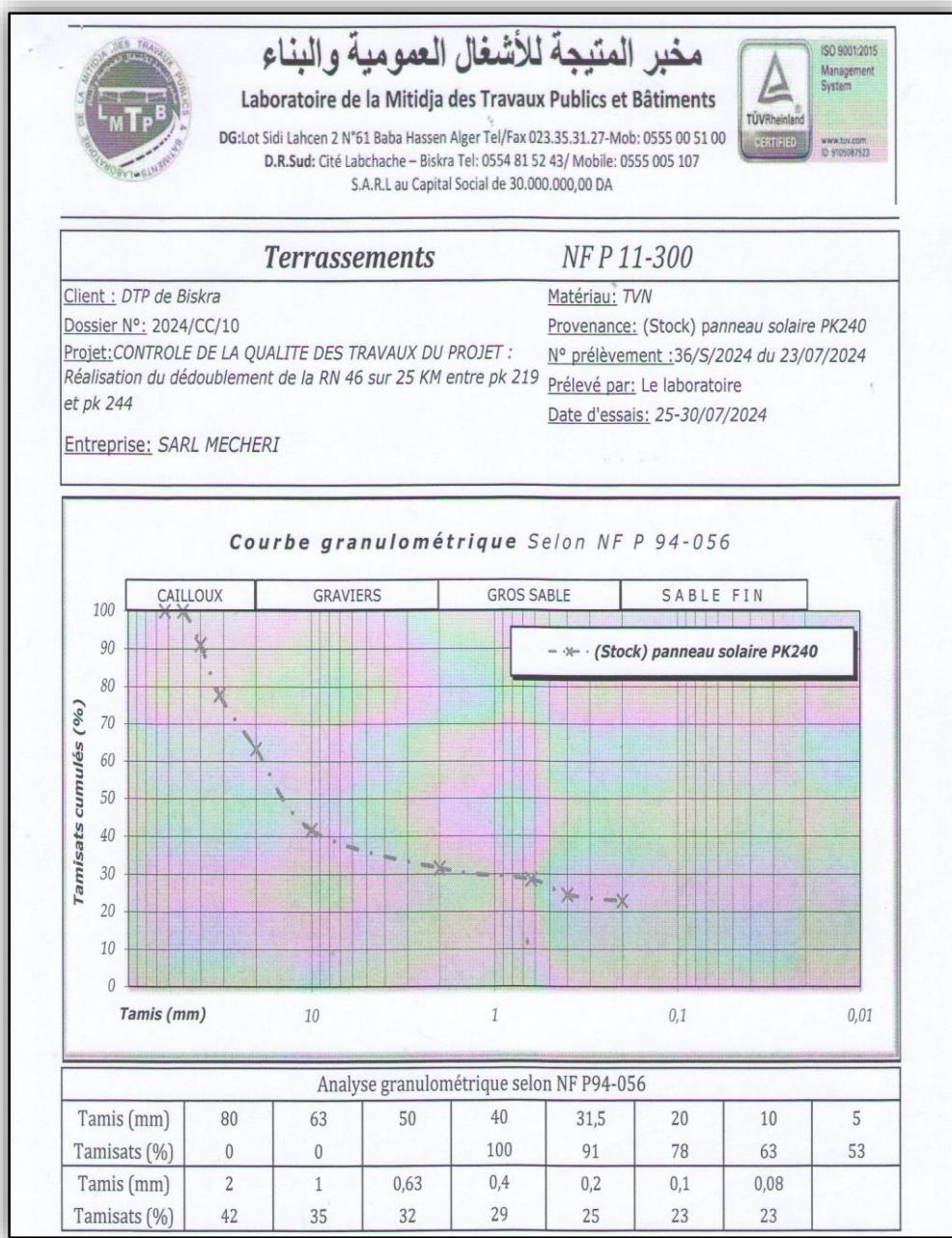


Fig. II-05 : Analyse granulométrique TVN « gisement PK240 »

❖ Tout Venant Oued « TVO » :

Le TVO provenant d'Oued LAGHROUS est un matériau qui a été sélectionné pour être utilisé dans la **couche de forme** et parfois dans la **couche de remblai**.

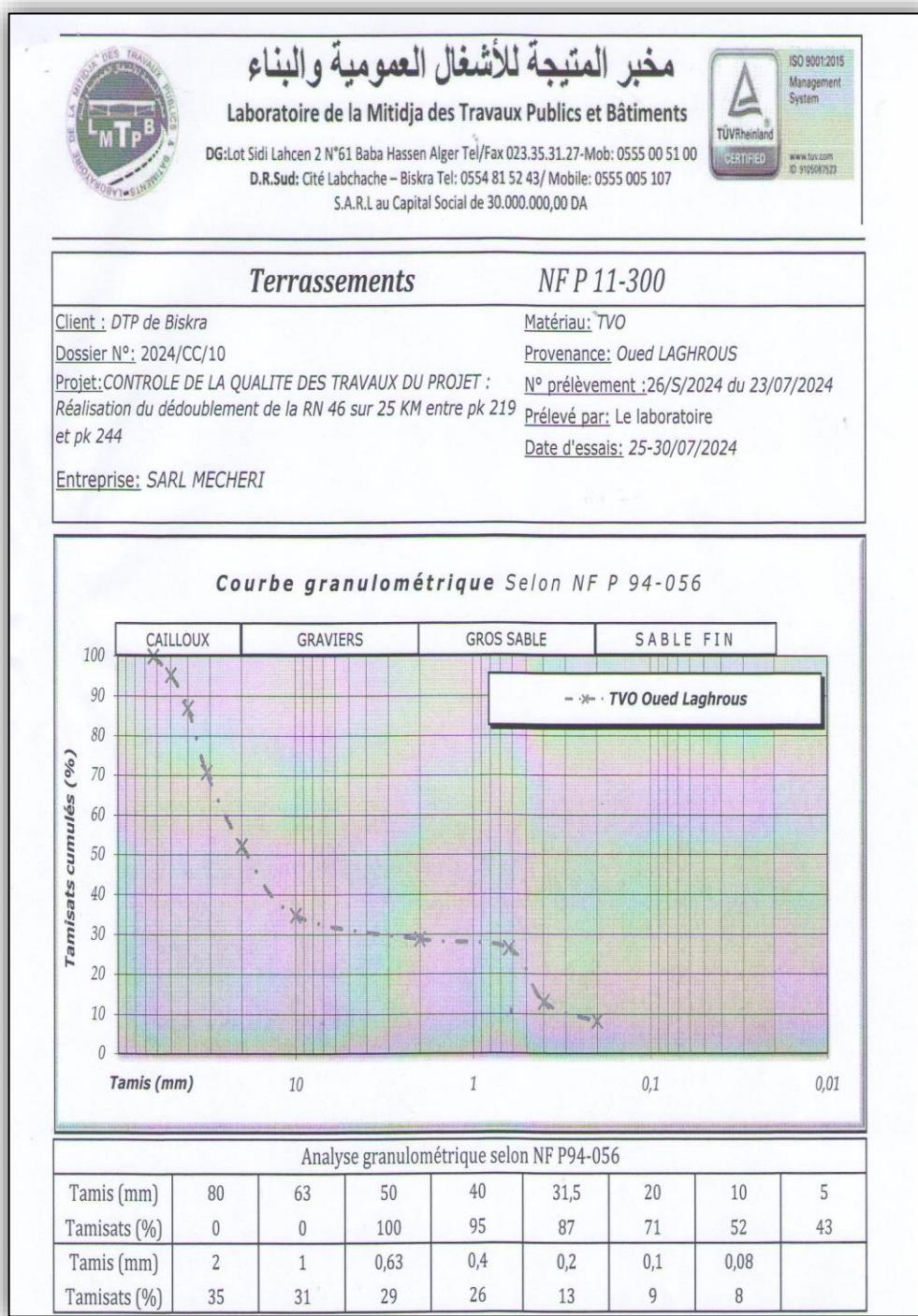


Fig. II-06 : Analyse granulométrique TVO « Oued LAGHROUS »

❖ Graves Non Traités « GNT » :

La GNT provenant de la carrière **TAHRAOUI El-Hadjeb** fait partie des matériaux choisis pour être utilisés dans la **couche de fondation**.

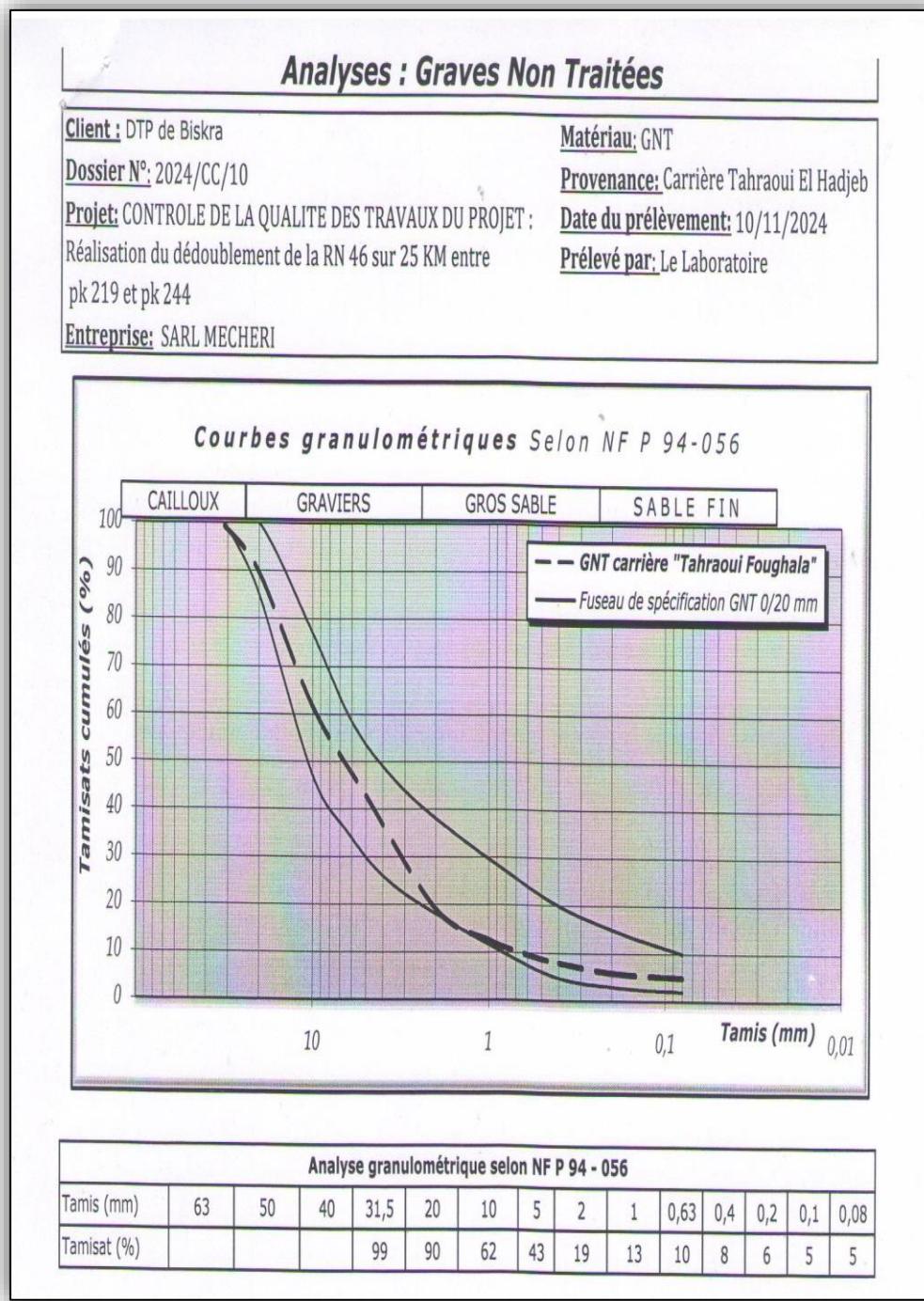


Fig. II-07 : Analyse granulométrique GNT « carrière TAHRAOUI El-Hadjeb »

II.3 - La grave 0/20 pour la fabrication du la GB 0/20 « NF P 98-138 » :

II.3.1 - Définition :

- ❖ Les GB 0/20 « Graves Bitume » sont des enrobes bitumineux à chaud, mélanges de granulats (sables, graviers, fines) et de liant bitumineux, généralement appliqués à chaud.
- ❖ Le « 0/20 » indique la granulométrie du matériau : les particules vont de **0 mm à 20 mm**

II.3.2 - Domaine d'utilisation :

La technique du grave bitume « **GB 0/20** » est couramment utilisés pour :

- ❖ Les couches de base de chaussées,
- ❖ Parfois en couche de fondation, selon les projets,
- ❖ Sur les routes à fort trafic, en appui sous une couche de roulement en enrobé

II.3.3 – Mélange de la Grave Bitume :

Les classes granulaires utilisées pour la fabrication des graves bitumes « **GB 0/20** » sont les suivant :

- ❖ Elle est compose de :
 - 42 % de Sable 0/4.
 - 18 % de Gravier 4/8.
 - 22 % de Gravier 8/16.
 - 18 % de Gravier 16/25.
 - 4.01% de liant (bitume pur 40/50)
- ❖ Il existe aussi des autres compositions par exemple :
 - 35% de sable 0/3
 - 25% de gravier 3/8
 - 17% de gravier 8/15
 - 23% de gravier 15/25
 - 4.1% de liant (bitume pur 40/50)

Selon l'étude de formulation de **GB 0/20 et BB 0/14** menée par le **Laboratoire Travaux Publics de l'Est LTPE**, le mélange pour GB 0/20 :

4.1 Mélange pour grave bitume GB 0/20 :

Les dosages granulaires retenus pour GB 0/20 sont dans les proportions suivantes :

Sable 0/4	42%
Gravillon 4/8	18%
Gravillon 8/16	22%
Gravillon 16/25	18%

La courbe de mélange ainsi obtenue est donnée en annexe ; donnée comme suit :

D mm	25	20	16	14	10	8	6.3	4	2	1	0.5	0.315	0.250	0.125	0.08
Passant %	99.64	91.9	81.76	78.14	67	59.36	53.56	44.28	35.48	24.36	15.54	11.76	10.5	7.96	6.30

Fig. II-08 : Mélange pour grave bitume GB (0/20)

II.3.4 - Fabrication :

Les graves bitumes « **GB 0/20** » sont fabriqués dans un poste à enrobé (aussi appelé centrale d'enrobage), qui est une installation industrielle mobile ou fixe destinée à produire des mélanges bitumineux à chaud, comme :

- ❖ Les graves bitumes (GB),
- ❖ les enrobés bitumineux (EB),
- ❖ les bétons bitumineux (BB).

II.3.5 - Mise en œuvre :

II.3.5.1 - Transport depuis la centrale :

- ❖ Transport en camions bennes thermiques pour maintenir le mélange chaud (~160–170 °C),
- ❖ Le déchargement doit se faire sans refroidissement, généralement dans l'heure suivant la fabrication.



Photo II-10 : Visite de poste à enrobé « Centrale d'enrobage »

II.3.5.2 - Préparation de la plateforme :

- ❖ Propre, plane, compactée,
- ❖ Sans poussière ni humidité excessive,
- ❖ Application éventuelle d'une émulsion de rupture (**couche d'accrochage**).

II.3.5.3 - Mise en place (épandage) :

- ❖ Réalisée avec un finisseur routier.
- ❖ Assurer une épaisseur uniforme (**souvent 8 à 15 cm compactés**),
- ❖ Respecter la pente et l'inclinaison,
- ❖ La température au moment de l'étalement doit être **>140 °C**.

II.3.5.4 – Compactage :

- ❖ Immédiatement après l'étalement, quand la GB est encore chaude,
- ❖ Compactage en plusieurs passes avec rouleaux tandem vibrants (**6–12 tonnes**),
- ❖ Parfois rouleaux pneumatiques pour bien refermer la surface,
- ❖ Objectif : atteindre **88 à 96 %** de la densité de référence.



Photo II-11 : Vérification température.



Photo II-12 : Prélèvement d'échantillon.



Photo II-13 : Compactage cylindrique.



Photo II-14 : Compactage pneumatique.

II.3.6 - Les fuseaux de références :

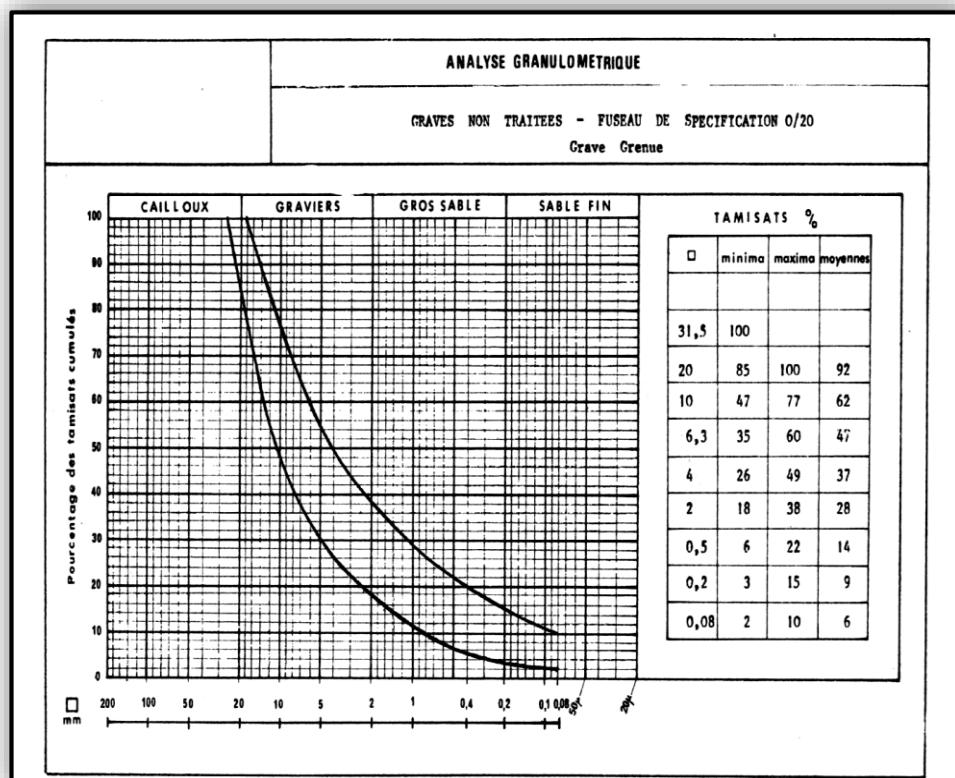


Fig. II-09 : Fuseau de spécifications GNT 0/20 (grave grenue)

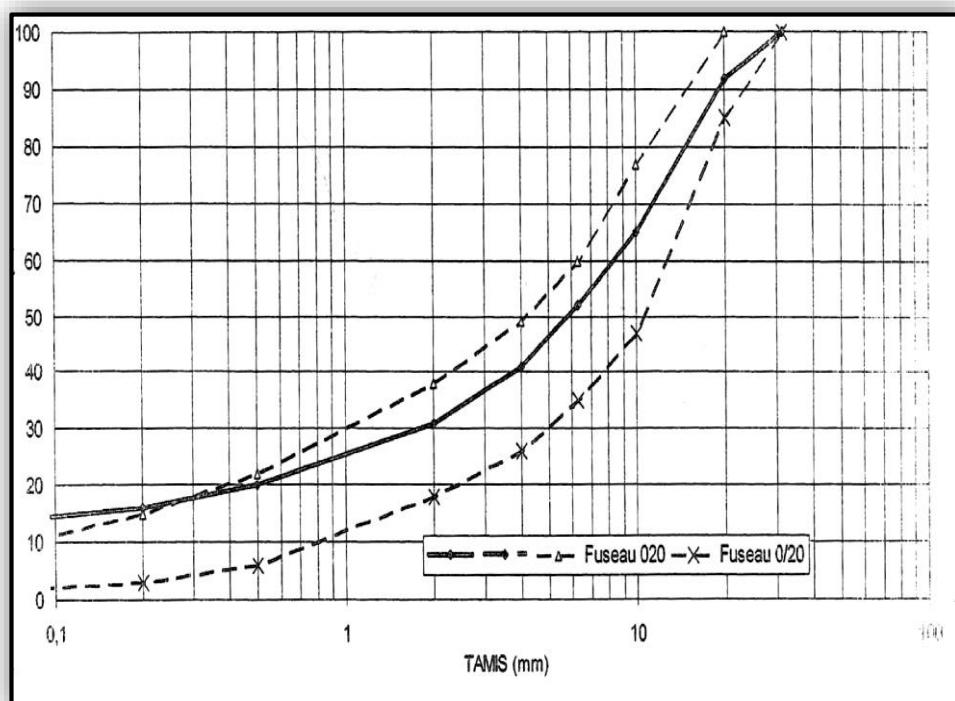


Fig. II-10 : Fuseau de spécifications GNT 0/20 (grave sableuse)

II.3.7. Exemple d'essai effectué au laboratoire LMTPB :

❖ Contrôle de l'enrobe par extraction de liant « GB 0/20 » :

مخبر المتيجة للأشغال العمومية والبناء Laboratoire de la Mitidja des Travaux Publics et Bâtiments DG: Lot Sidi Lahcen 2 N°61 Baba Hassen Alger Tel/Fax 023.35.31.27-Mob: 0555 00 51 00 D.R.Sud: Cité Labchache - Biskra Tel: 0554-81 52 43 / Mobile: 0555 005 107 S.A.R.L au Capital Social de 30.000.000,00 DA																															
PV DE CONTRÔLE DE L'ENROBE PAR EXTRACTION DE LIANT METHODE KUMAGAWA Norme NF T 66-001																															
Client:	DTP BISKRA																														
Dossier N°:	2024/CC/10																														
Chantier:	Contrôle technique des travaux de Lot N°02 : Modernisation de la RN 01 du Pk 1148 au Pk 1163 sur 15 Km.																														
Entreprise:	SARL MECHERI																														
Poste d'enrobés:	SARL MECHERI																														
Section Réalisée																															
Date:	09/03/2025	Section revêtue:	PLANCHE D'ESSAI N°02 RN46 1ière couche GB du PF33 au PF39 section droite dédoublée																												
Climat:	Ensoleillé	Etat du support:	Sec et propre																												
Heure:	17H:00	Déformations:	/																												
Couche:	GB 0/20	Accrochage:	Acceptable																												
Analyse granulométrique Norme NF P18-560																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tamis (mm)</th> <th>%</th> <th colspan="2">Fuseau</th> </tr> <tr> <th>(mm)</th> <th>P</th> <th>Min</th> <th>Max</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>20</td> <td>94</td> <td>85</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>68</td> <td>65</td> <td>75</td> </tr> <tr> <td>6,3</td> <td>53</td> <td>45</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>27</td> <td>25</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>0,08</td> <td>6</td> <td>6</td> <td>9</td> </tr> </tbody> </table>				Tamis (mm)	%	Fuseau		(mm)	P	Min	Max	20	94	85	100	10	68	65	75	6,3	53	45	60	2	27	25	40	0,08	6	6	9
Tamis (mm)	%	Fuseau																													
(mm)	P	Min	Max																												
20	94	85	100																												
10	68	65	75																												
6,3	53	45	60																												
2	27	25	40																												
0,08	6	6	9																												
Teneur en bitume	4,81	Teneur préconisée																													
Surface spécifique	10,39	Tolérance	4,09																												
Module de richesse	2,18	Min	3,89																												
Observations : La courbe du mélange es l'insère dans le fuseau de spécification GB0/20 ; La teneur en bitume est très élevée ; La teneur en fines est bonne.																															

Fig. II-11 : Contrôle de l'enrobe par extraction de liant « GB 0/20 ».

II.4 - La grave 0/14 pour la fabrication du BB « NF P 98-137 » :

II.4.1 - Définition :

- ❖ Les BB 0/14 « Béton Bitumineux » est un enrobé bitumineux à chaud, mélanges de granulats (sables, graviers, fines) et de liant bitumineux, généralement appliqués à chaud.
- ❖ Le « 0/14 » indique la granulométrie du matériau : les particules vont de **0 mm à 14 mm**

II.4.2 - Domaine d'utilisation :

La technique du béton bitumeux « **BB 0/14** » est couramment utilisés pour :

- ❖ Couches de liaison (liaison entre la base et la couche de roulement),
- ❖ Parfois en couche de roulement, selon le trafic et les spécifications du projet

II.4.3 – Mélange du béton Bitumineux :

Les classes granulaires utilisées pour la fabrication des bétons bitumineux « **BB 0/14** » sont les suivant :

- ❖ 43 % de Sable 0/4.
- ❖ 19 % de Gravillon 4/8.
- ❖ 38 % de Gravillon 8/16.
- ❖ 5,15 % à 5,55 % de liant de liant (bitume pur 40/50)

4.2 Mélange pour Béton bitumineux BB 0/14 :

Les dosages granulaires pour BB 0/14 sont dans les proportions suivantes :

Sable 0/4	43%
Gravillon 4/8	19%
Gravillon 8/16	38%

La courbe de mélange ainsi obtenue est donnée en annexe.

D mm	16	14	10	8	6.3	4	2	1	0.5	0.315	0.250	0.125	0.08
Passant %	97.72	92.4	73.78	63.9	55.73	45.6	37.36	24.94	15.91	12.04	10.75	8.17	6.45

Fig. II-12 : Mélange pour béton bitumeux BB (0/14)

II.4.4 - Fabrication :

Les bétons bitumineux « **BB 0/14** » sont fabriqués dans un poste à enrobé (aussi appelé centrale d'enrobage), qui est une installation industrielle mobile ou fixe destinée à produire des mélanges bitumineux à chaud.

II.4.5 - Mise en œuvre :

II.4.5.1 - Transport depuis la centrale :

- ❖ En camions à benne calorifugée, température minimale « **150–170°C** » à la livraison sur chantier.
- ❖ Éviter le refroidissement et maintenir un approvisionnement continu.

II.4.5.2 - Préparation de la plateforme :

- ❖ Propre (soufflée, sans poussière, ni boue),
- ❖ Sec, sans humidité résiduelle,
- ❖ Compactée et régulière.
- ❖ Application d'une couche d'accrochage (émulsion de bitume) **200 et 500 g/m²** selon le support.

II.4.5.3 - Mise en place (épandage) :

- ❖ Réalisée avec un finisseur routier.
- ❖ Assurer une épaisseur uniforme (**souvent 8 à 15 cm compactés**),
- ❖ Respecter la pente et l'inclinaison,
- ❖ La température au moment de l'étalement doit être **>140 °C**.

II.4.5.4 – Compactage :

- ❖ Réalisé immédiatement après la pose, pendant que le matériau est encore chaud.
- ❖ Rouleaux tandem vibrants (**6–12 t**),
- ❖ Rouleaux pneumatiques pour refermer la surface et améliorer la densité.
- ❖ Objectif : obtenir **95 à 98 %** de la densité de référence.

II.4.5.5 - Refroidissement et circulation :

- ❖ Circulation interdite tant que la température est :
 - Pour poids lourds : $> 60^{\circ}\text{C}$,
 - Pour circulation légère : $> 40^{\circ}\text{C}$.

II.4.6 - Les fuseaux de références :

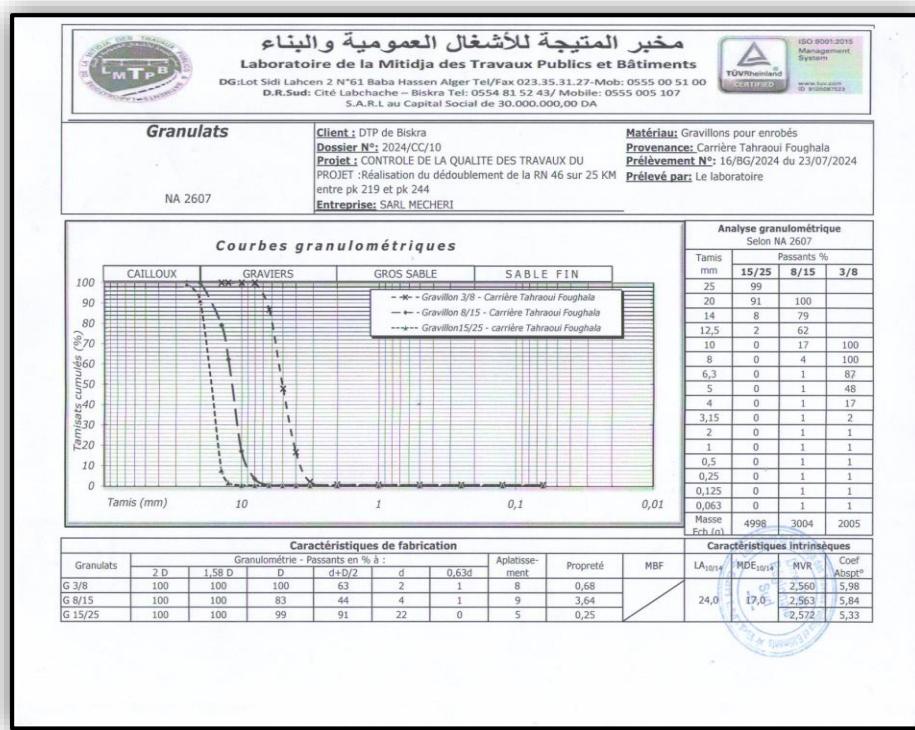


Fig. II-13 : Analyse granulométrique 3/8-8/15-15/25

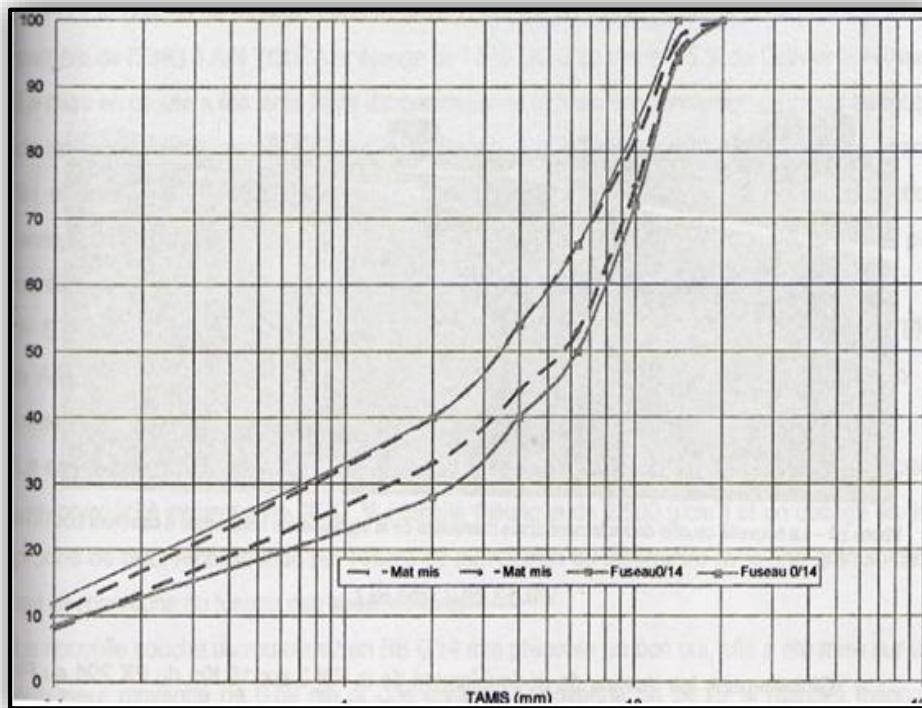


Fig. II-14 : Fuseau de fabrication du BB 0/14 par rapport au fuseau des spécifications

Chapitre III

ESSAI D'IDENTIFICATION

III.1. Essai au bleu de méthylène d'un sol (Essai à la tache) « NF P 94-068 » :

III.1.1. But de l'essai :

- ❖ Le but de l'essai est d'évaluer la richesse en argile d'un sol en mesurant sa capacité d'adsorption de molécules de bleu de méthylène.
- ❖ Mesurer la quantité de bleu de méthylène nécessaire pour saturer un sol. Cette dernière est directement liée à la surface spécifique qui est elle-même reliée à l'activité du sol.

III.1.2. Principe de l'essai :

- ❖ Le principe de l'essai est de consister à doser une prise d'essai mise en suspension avec du bleu de méthylène.
- ❖ A saturation, une goutte de la suspension déposée sur du papier filtre provoque la formation d'une tâche avec une auréole.
- ❖ On appelle valeur de bleu de méthylène du sol **VBS**, la quantité exprimée en gramme de bleu de méthylène adsorbée par **100 g** de fines. Le **VBS** est un indicateur essentiel dans la classification des sols concernés par les travaux de terrassements.

III.1.3. Appareillage :

- ❖ Balance de portée suffisante d'une précision relative de 0.1 %.
- ❖ Chronomètre.
- ❖ Tamis maille carrée d'ouverture 5 mm.
- ❖ Un récipient de 3 litres en matière plastique de diamètre environ 155 mm.
- ❖ Agitateur à ailettes de diamètre 70 à 80 mm et de vitesse de rotation : 400 à 700 tr/min.
- ❖ Burette de 50 ml, ou une burette automatique, graduée en 1/10^e ml.
- ❖ Papier filtre sans cendre (< 0.010), grammage : 95 g/m², épaisseur : 0.2 mm, vitesse de filtration : 75 rétentions : 8 µm.
- ❖ Baguette de verre de 8 mm de diamètre et 300 mm environ de longueur.

III.1.4. Produits utilisées :

- ❖ Solution de bleu de méthylène qualité médicinale à 10 g/l plus ou moins 0.1 g/l.
- ❖ Eau déminéralisée ou distillée
- ❖ Sol

III.1.5. Préparation de l'échantillon pour l'essai :

- ❖ Séparer par tamisage et si nécessaire par lavage la fraction **0/5 mm** contenue dans l'échantillon
- ❖ Déterminer la proportion pondérale **C** de la fraction sèche 0/5 mm contenue dans le matériau.
Cette proportion peut être lue sur la courbe granulométrique du matériau si elle est connue par ailleurs ou si non déterminée sur un autre échantillon représentatif du matériau.
- ❖ Déterminer la teneur en eau **W %**.
- ❖ Préparer une masse humide de sol **M_h** comprise entre **30** et **60 g** pour un **sol argileux** et entre **60** et **120 g** pour un **sol peu argileux**.

III.1.6. Exécution de l'essai :

- ❖ Introduire **M_h** dans le récipient de **3 litres** et ajouter **500 ml** d'eau déminéralisée ou distillée.
- ❖ Agiter l'ensemble à l'aide de l'agitateur à ailettes à une vitesse de **700 tr/min** pendant au minimum **5 minutes** et positionné à **1 cm** environ du fond du récipient.
- ❖ Agiter ensuite de manière permanente l'ensemble « **eau + sol** » à **400 tr/min (photo 01)** ;
- ❖ Injecter de solution de bleu de méthylène à l'aide de la burette **(photo 02)**.

Au bout de 5 minutes, effectuer le test de la tache sur papier filtre de la manière suivante :

- ❖ Prélever à l'aide de la baguette de verre, une goutte de suspension que l'on dépose sur le papier filtre **(photo 03)** et **(photo 04)**.
- ❖ Observer la tache formée qui se compose d'un dépôt central de matériau, coloré d'un bleu sombre, entouré d'une zone humide incolore.
- ❖ La goutte prélevée doit être telle que le diamètre du dépôt soit compris entre **8 et 12 mm**
- ❖ Le test est dit **positif** si dans la zone humide apparaît autour du dépôt central une auréole bleu clair persistante **(photo 05)**.
- ❖ Le test est dit **négatif** si l'auréole est incolore : il faut alors rajouter de solution de bleu de méthylène **(photo 05)**.
- ❖ Lorsque le test est positif, laisser s'opérer l'adsorption du bleu, qui n'est pas instantanée, tout en effectuant des tests de minute en minute sans ajout de solution.
- ❖ Si l'auréole bleu clair disparaît à la cinquième minute, procéder à de nouvelles injections de solution de bleu.
- ❖ Chaque addition est suivie de tests effectués de minute en minute.
- ❖ Renouveler l'opération jusqu'à ce que le test demeure positif pendant cinq minutes

consécutives : le dosage est alors terminé.

- ❖ Noter V le volume de solution de bleu de méthylène adsorbé.

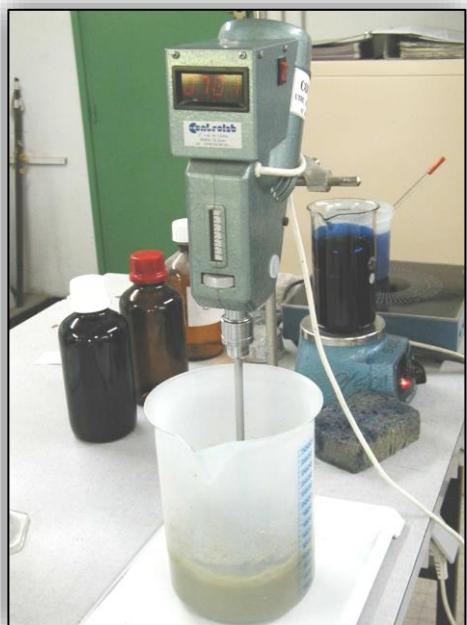


Photo III-1 : Agitation durant 5 mn



Photo III-2 : Ajouts successifs de bleu



Photo III-3 : Prélèvement d'une goutte suspension

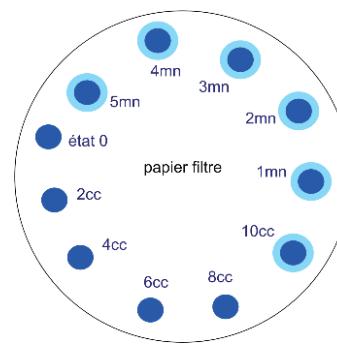


Photo III-4 : Dépôt sur papier filtre



Photo III-5 : Résultats : Positif - Négatif

III.1.7. Expression des résultats :

Valeur de bleu VBS :

- ❖ V : volume (en ml) de solution de bleu utilisée jusqu'à obtention du test positif.
- ❖ m_s : masse sèche de la prise d'essai (en g).

Si la fraction **0/5 mm** de la prise d'essai fait partie d'un échantillon de granulométrie 0/D, la valeur de bleu est :

$$\triangleright \quad V_{BS} (0/D) = V_{BS} (0/5) \cdot P$$

- ❖ P étant le pourcentage de la fraction 0/5 dans l'ensemble 0/D.
- ❖ La valeur de bleu quantifie alors le degré d'argilosité du sol. Il constitue l'un des paramètres importants de la classification des sols en vue des travaux de terrassements.

III.1.8. Classification des sols après essai :

- ❖ $V_{BS}=0,1$: Sol insensible à l'eau.
- ❖ $V_{BS}=0,2$: Apparition de la sensibilité à l'eau.
- ❖ $V_{BS}=1,5$: Seuil distinguant les sols sablo-limoneux des sols sablo- argileux.
- ❖ $V_{BS}=2,5$: Seuil distinguant les sols limoneux peu plastique des sols limoneux de plasticité moyenne.
- ❖ $V_{BS}=6,0$: Seuil distinguant les sols limoneux des sols argileux.
- ❖ $V_{BS}=8,0$: Seuil distinguant les sols argileux des sols très argileux

III.1.9. Classification GTR :

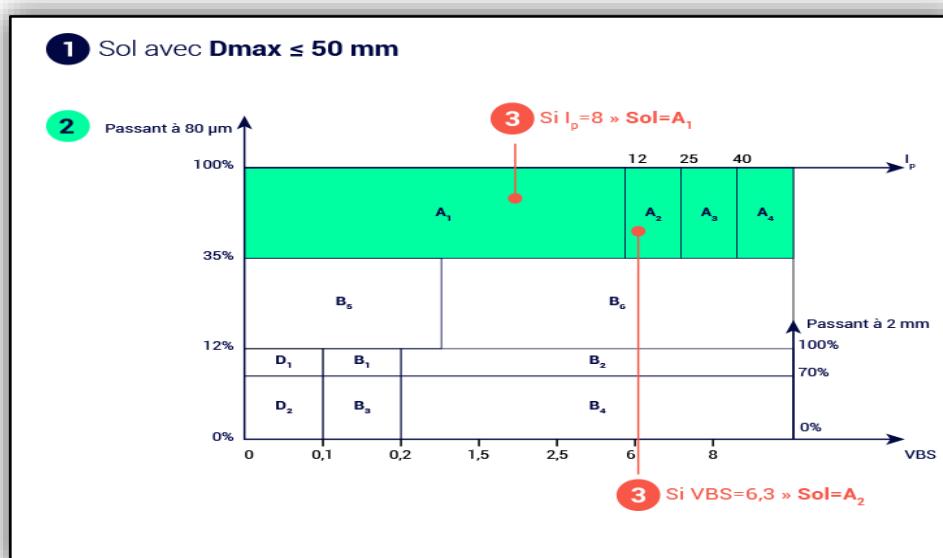


Fig. III-01 : Classification de sol selon GTR

III.2. Essai d'équivalent de sable « NF P 94-056 » :

III.2.1. Généralités :

L'équivalent de sable est un indicateur, utilisé en géotechnique, caractérisant la propreté d'un sable ou d'une grave. Il indique la teneur en éléments fins, d'origine essentiellement argileuse, végétale ou organique à la surface des grains. Ce terme désigne également l'essai qui permet de déterminer cet indicateur. On parle « d'essai d'équivalent de sable piston » ou, plus simplement, « d'essai d'équivalent de sable ».

III.2.2. Equipement utilisé :

- ❖ Eprouvettes en plexiglas avec deux traits repères, et leur bouchon.
- ❖ Entonnoir pour introduction du sable.
- ❖ Bonbonne pour la solution lavante avec son bouchon, le siphon et tube souple de 1,5 m.
- ❖ Tube laveur métallique plongent.
- ❖ Réglet métallique pour la mesure des hauteurs de sable et floculat.
- ❖ Piston taré à masse coulissante de 1 kg pour la mesure de ES

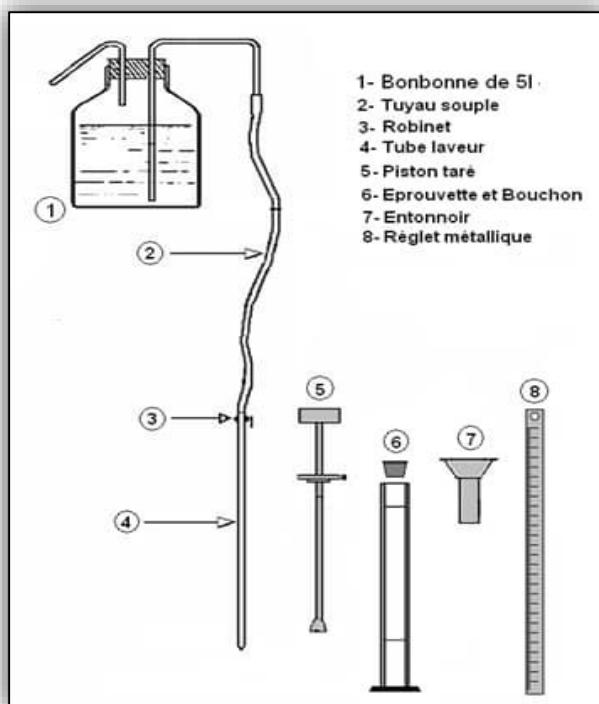


Fig. III-02 : Equipement essai « E-S »

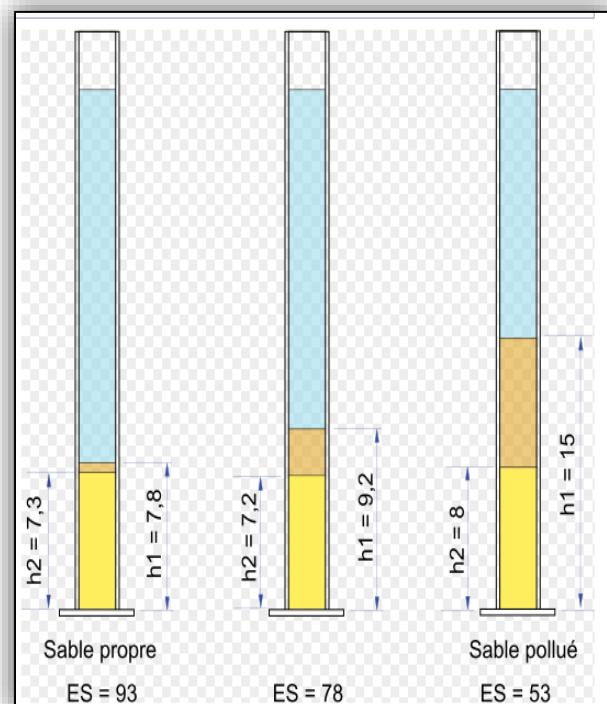


Fig. III-03 : Exemple calcul « E-S »

III.2.3. Mode opératoire :

Le matériel et le sable lavé étant préparés, on effectuera les opérations suivantes :

- ❖ La solution lavante est placée dans la bonbonne de cinq (05) litres située à un (01) mètre au-dessus du fond des éprouvettes.
- ❖ Le dispositif siphonique est amorcé et il est relié au tube laveur.
- ❖ Pour l'étude, on utilisera deux éprouvettes propres et on fera la moyenne des deux résultats.
- ❖ Remplir les éprouvettes graduées d'eau.
- ❖ Verser la quantité de sable (environ 120 g), et laisser reposer pendant 10 minutes.
- ❖ Boucher les éprouvettes et les faire agiter 90 fois aller et retour dans le sens horizontal puis remplacer verticalement.
- ❖ Laver le sable avec une solution lavante, et laisser reposer l'ensemble pendant 20 mm
- ❖ Mesurer la hauteur du sable propre (h_2) et la hauteur du sable propre + éléments fins (h_1).
- ❖ La mesure de (h_2), n'est pas toujours aisée, ce qui conduit à faire la mesure la plus précise : [ES].
- ❖ Descendre lentement le piston dans l'éprouvette jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment, l'immobiliser, mesurer (h_2).

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

III.2.4. Equivalent de sable visuel (E.S.V) :

- ❖ Après 20 min de dépôt, lire la hauteur h_1 , de niveau supérieur de flocculat jusqu'au fond de l'éprouvette à l'aide d'une règle.
- ❖ Mesurer également avec la règle la hauteur h_2 compris entre le niveau supérieur de la partie sédimentaire du fond de l'éprouvette.
- ❖ h_1 : hauteur du sable plus flocculat.
- ❖ h_2 : hauteur du sable.

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

III.2.5. Equivalent de sable piston (E.S.P) :

- ❖ Introduire le piston dans l'éprouvette et la laisser descendre doucement jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment, à cet instant bloquer le manchon du piston et sortir celui-ci de l'éprouvette.
- ❖ h_1 : hauteur du sable plus flocculat.
- ❖ h_2 : hauteur du sable

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

III.3. Essai de masse volumique « NF P 94-059 » :

III.3.1. But de l'essai :

La détermination au pycnomètre à eau, de la masse volumique des particules solides de sol.

III.3.2. Définitions :

La masse volumique des particules solides du sol ρ_s est le quotient de la masse de ces particules solides (m_s) par leur volume (v_s).

III.3.3. Principe de la détermination de la masse volumique des particules solides :

La masse des particules solides est obtenue par pesage, le volume est mesuré au pycnomètre.

III.3.4. Appareillage :

- ❖ Une balance.
- ❖ Un tamis à maille carrée de 2 mm d'ouverture.
- ❖ Des pycnomètres de volume minimal 50 cm^3 .
- ❖ Un thermomètre
- ❖ Une enceinte thermique
- ❖ Une réserve d'eau distillée de 10l



Photo III-6 : Balance



Photo III-7 : pycnomètres Photo III-8 : Tamis 2 mm



III.3.5. Mode opération :

- ❖ Pendant la dure des essais la température de la salle doit être maintenue à 3°C près.
- ❖ Les différentes manipulations pour déterminer la masse volumique des particules solides sont décrites ci-après :

III.4. Mesure du coefficient d'aplatissement « NF P 18-561 » :

III.4.1. Définitions :

La forme d'un élément est définie par trois dimensions principales :

Longueur L = le plus grand écartement d'un couple de plans tangents parallèles.

Épaisseur E = le plus petit écartement d'un couple de plans tangents parallèles.

Grosseur G = dimension de la maille carrée minimale à travers laquelle passe l'élément.

Le coefficient d'aplatissement A d'un lot de granulats soumis à l'essai est, par définition, le pourcentage

des éléments tels que :

$$\frac{E}{G} > 1.58$$

III.4.2. Principe de l'essai :

L'essai consiste à effectuer un double tamisage :

Tamisage sur tamis à mailles carrées, pour classer l'échantillon étudié en différentes classes d/D avec D = 1,25 d), suivant leur grosseur G.

Puis tamisage des différentes classes granulaires d/D, sur des grilles à fentes parallèles d'écartement :

$$\frac{D}{1.58}$$

Le coefficient d'aplatissement de chaque classe granulaire d/D correspond au passant du tamisage sur la grille à fentes d'écartement d/1,58, exprimé en pourcentage.

Le coefficient d'aplatissement global de l'échantillon est égal à la somme pondérée des coefficients d'aplatissement des différentes classes granulaires d/D composant l'échantillon.

III.4.3. Appareillage :

III.4.3.1. Appareillage d'usage courant :

Appareillage courant et spécifique de la norme P 18-553.

La détermination des classes granulaires s'effectue sur les tamis à mailles carrées utilisés pour l'analyse granulométrique définie par la norme P 18-560. On utilise les tamis de dimensions d'ouverture de maille de : 50-40-31,5- 25-20-16- 14-12,5-10-8 6,3-5 et 4 mm.

III.4.3.2. Appareillage spécifique :

Pour la détermination du coefficient d'aplatissement de chaque classe granulaire, on utilise une série de grilles, constituées par des barres cylindriques parallèles fixées dans un châssis carré. Les écartements intérieurs des barres sont respectivement de :

31,5 - 25 - 20 - 16- 12,5 -10 - 8 - 6,3- 5 - 4- 3,15 et 2,5 mm.

Pour chaque grille, l'ouverture des fentes ainsi définies doivent satisfaire aux conditions suivantes ; II ne doit pas y avoir plus de 10 % de la longueur totale des fentes dont l'écartement diffère de 0,25 mm de l'écartement nominal.

En aucun point des fentes, la largeur de fente ne doit s'écartez de 0,5 mm de la dimension nominale.

III.4.4. Préparation de l'échantillon pour l'essai :

L'échantillon doit être préparé suivant les prescriptions de la norme P 18-553. La masse M de l'échantillon pour essai doit être supérieure à 0,2D, avec M exprimé en kilogrammes et D, plus grande dimension spécifiée, exprimé en millimètres.

L'échantillon est passé sur un tamis de 4 mm, la masse Mo du refus est déterminée avec une précision relative de 0,1 %.

III.4.5. Exécution de l'essai :

III.4.5.1. Tamisage sur tamis à mailles carrées :

Procéder au tamisage de l'échantillon par voie sèche sur les tamis en se conformant aux prescriptions de la norme P 18-560.

Recueillir les différentes fractions d/D ; peser chaque classe granulaire avec une précision relative de 0,1.

III.4.5.2. Tamisage sur grilles à fentes :

Tamiser chaque classe granulaire obtenue par l'opération précédente sur une grille dont l'écartement E entre les barres est défini par le tableau de correspondance ci-dessous :

CLASSE GRANULAIR (d/D)	ECARTEMENT (E)
> 50	31.5
40-50	25
31.5-40	20
25-31.5	16
20-25	12.5
16-20	10
12.5-16	8
10-12.5	6.3
8-10	5
6.3-8	4
5-6.3	3.15
4	2.5

Tableau III-01 : Les classes granulaires par rapport à leurs écartements

Dimensions en millimètres :

Le tamisage sur les grilles se fait manuellement.

Peser avec une précision relative de 0,1 % le passant sur la grille correspondante à chaque classe granulaire d/D.

III.4.6. Expression des résultats :

Les résultats sont portés sur des feuilles d'essai dont un exemple est donné en annexe A. Les notations suivantes sont utilisées :

Mg = Masse de chaque classe granulaire d/D, en grammes.

M = ΣMg (ce chiffre peut être légèrement inférieur à Mo mais ne doit pas s'en écarté de plus de 2 %).

Me = Masse des éléments de chaque classe granulaire d/D passant sur la grille correspondante, définie par le tableau).

Le coefficient d'aplatissement de chaque classe granulaire est donné par :

Le coefficient d'aplatissement global A est donné par :

$$CA = \frac{\Sigma REFUS PARTIEL (tamis carre)}{masse totale} \times 100$$



Chapitre IV

CONTROLE DE COMPACTAGE

IV.1 - GENERALITES :

Le compactage est l'ensemble des mesures prises pour augmenter la densité apparente sèche (γ_d / γ_0) du sol traité. Ce qui conduit à réduire son volume apparent (par diminution de l'indice des vides).

Cette densification n'est pas un but en soi, elle est recherchée parce qu'elle entraîne d'autres conséquences :

- ❖ La première, liée à la notion de compacité, est la suppression ou du moins la limitation des tassemements. Cet objectif, qu'il soit spécialement recherché ou non, est toujours atteint ou au moins partiellement par le compactage ;
- ❖ La deuxième conséquence est la diminution de la perméabilité de la couche traitée afin de s'opposer à l'écoulement de d'eau, une troisième conséquence possible du compactage est l'amélioration des caractéristiques mécaniques qui en résultent généralement : portance et module de déformation, résistance à la compression et au poinçonnement résistance au cisaillement.

IV.2 - Essais PROCTOR « NF P 94-093 » :

IV.2.1. But de l'essai :

L'essai Proctor a pour but de déterminer la teneur en eau optimale pour un sol de remblai donné et des conditions de compactage fixées, qui conduit au meilleur compactage possible ou encore capacité portante maximale.

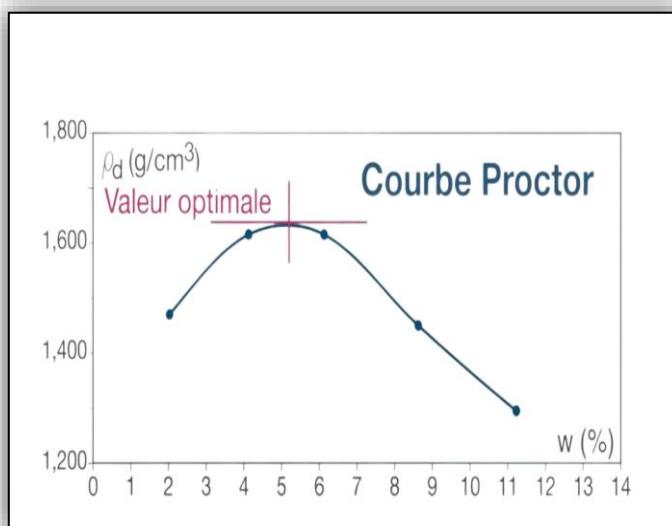


Fig. IV-01 : Courbe Proctor



Fig.IV-02 : Moule Proctor

IV.2.2. Définition:

- ❖ VT : Volume total de l'échantillon,
- ❖ Va : Volume d'air contenu dans l'échantillon,
- ❖ Vw : Volume d'eau contenu dans l'échantillon,
- ❖ Vs : Volume des grains solides contenus dans l'échantillon,
- ❖ Wa : Poids de l'air contenu dans l'échantillon ($Wa \approx 0$),
- ❖ WS : Poids des grains solide contenu dans l'échantillon,
- ❖ WW : Poids de l'eau contenu dans l'échantillon,

- ❖ Poids volumique d'un sol sec (notation γ_d) :

$$\gamma_d = \frac{Ws + Wa}{Vs + Vw + Va} = \frac{Ws}{V}$$

- ❖ Teneur en eau (notation ω) s'exprime en % :

$$\omega = \frac{Ww}{Ws} \times 100$$

- ❖ Energie de compactage : $N (\text{J/m}^3) = (\text{nombre de coups par couche}) \times (\text{Nombre de couches}) \times (\text{masse de la dame}) \times (\text{g}) \times (\text{hauteurs de chute de la dame}) / (\text{Volume utile du moule}).$
- ❖ L'optimum Proctor : est la teneur en eau w pour laquelle le sol atteint, pour une énergie de compactage donné, un γ_d maximal.
- ❖ Diagramme PROCTOR simple : C'est un diagramme qui Comporte une courbe Proctor n Unique, donnant, pour une énergie de compactage donnée, W_{opt} et $\gamma_{d\text{Max}}$.
- ❖ Diagramme PROCTOR complet : En faisant varier le nombre de coups par couche, on peut déterminer plusieurs courbes Proctor simple, correspondantes à diverses énergies de compactage.
- ❖ Les courbes trouvées sont toutes tangentes asymptotiquement à une hyperbole équilatère, qui correspond à un sol ne contenant plus d'air du tout ($S_r = 1$), dont l'équation est :
- ❖ $\gamma_d = (S \cdot \gamma_s) / (S + \omega \cdot \gamma_s / \gamma \omega)$.

IV.2.3. Principe de la méthode :

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.

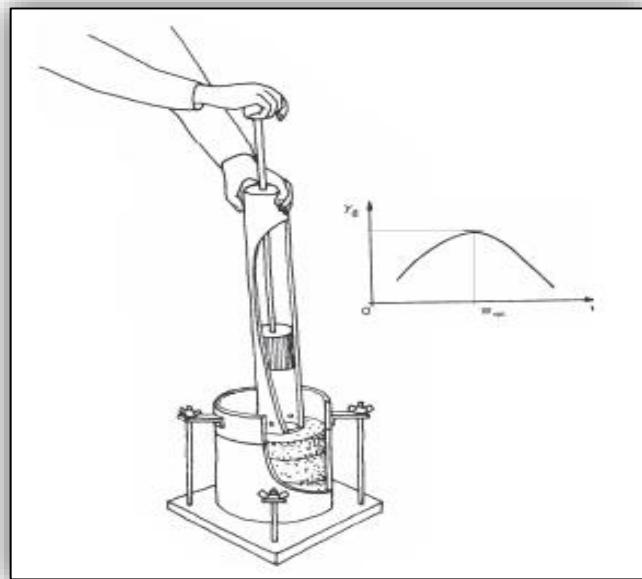


Fig.IV-03 : Essai Proctor

L'essai est répété plusieurs fois de suite sur des échantillons portes à différentes teneurs en eau. On définit ainsi plusieurs points d'une courbe (γ_d ; w) ; on trace cette courbe qui représente un maximum dont l'abscisse est la teneur en eau optimale et l'ordonnée la densité sèche optimale.

Pour ces essais on peut utiliser, selon la finesse des grains du sol, deux types de moules :

Le moule Proctor \varnothing moule intérieur = 101,6mm / H

- ❖ = 117mm (sans rehausse)
- ❖ $V_{\text{moule Proctor}} = 948 \text{ cm}^3$
- ❖ **Le moule CBR** \varnothing moule = 152 mm / H = 152 mm (sans rehausse) dont disque d'espacement de 25,4 mm d'épaisseur, soit une hauteur H utile = 126,6 mm = $V_{\text{moule CBR}} = 2296 \text{ cm}^3$ avec chacun de ces moules, on peut effectuer deux types d'essai (choix par rapport à l'énergie de compactage) :
 - ❖ L'essai PROCTOR NORMAL,
 - ❖ L'essai PROCTOR MODIFIE.

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

	Masse de la dame (Kg)	Hauteur de chute (cm)	Nombre de coups par couche	Nombre de couches	Energie de compactage Kg/m ³
Essai Proctor	Normal 2,490	30,50	25 (moule Proctor) 55 (moule CBR)	3 3	587 533
	Modifié 4,540	45,70	25 (moule Proctor) 55 (moule CBR)	5 5	2,680 2,435

Tableau IV-01 : Les conditions de chaque essai

IV.2.4. Matériel nécessaire :

- ❖ Bacs d'homogénéisation pour préparation du matériau
- ❖ Moule CBR (éventuellement Proctor),
- ❖ Dame Proctor normal ou modifié,
- ❖ Balance portée 20 kg, précision ± 5 g,
- ❖ Balance de précision 200 g, précision $\pm 0,1$ g,
- ❖ Etuve 105°C $\pm 5^\circ$ C,
- ❖ Tamis 5 et 20 mm
- ❖ Règle à araser,
- ❖ pinceau
- ❖ Des tars



Photo IV-01 : Essai Proctor

IV.2.5. Mode opératoire :

IV.2.5.1. Préparation des échantillons pour essais :

Quantités à prélever :

- ❖ La réalisation de la courbe nécessitera au moins **5 essais** (1 point (ω ; γd) par essai).
- ❖ 3 essais sont préférables. Pour 3 points de mesure :

IV.2.5.2. Contrôle de l'échantillon pour la faisabilité de l'essai :

- ❖ Si $D \geq 20$ mm, il faut tamiser à 20 mm le sol et peser le refus :
 - Si le refus est $\leq 25\%$, l'essai doit être réalisé dans le moule CBR, mais sans intégrer le refus (échantillon écrêté à 20 mm),
 - Si le refus est $> 25\%$, l'essai PROCTOR ne doit pas être réalisé (compactage hasardeux).
- ❖ Préparation de l'échantillon :
 - Ecraser les mottes à la main ou au malaxeur, mais pas les éléments pierreux, et homogénéiser soigneusement le matériau (sa teneur en eau doit être homogène).
 - Sécher le matériau à l'air ou à l'étuve (3 à 5 heure à 60°C), pour faciliter le tamisage et pour débuter l'essai avec une teneur en eau inférieur à la teneur en eau optimale Proctor (l'essai est fait à teneur en eau croissante).
 - Ecrêter à 20 mm l'échantillon (le cas échéant).
- ❖ Détermination de la teneur en eau de départ : L'expérience montre qu'il est bien d'avoir 2% de différence de teneur en eau environ entre chaque point (courbe harmonieuse). 4% est un maximum .Il est souhaitable de commencer les essais à une teneur en eau ω qui se situe environ à 4 ou 5% au-dessous de ω_{opt} . (ω_{opt} en générale entre 10 et 14 %).

IV.2.5.3 Préparation du matériel :

- ❖ Choix du moule :
- ❖ Il dépend de la grosseur D des gros grains du sol :
 - Si $D \leq 5$ mm (et seulement dans ce cas), le moule Proctor est autorisé, mais le moule CBR est conseillé,
 - Si $5 < D \leq 20$ mm, utiliser le moule CBR (sol conserver intact avec tous ses constituants),
 - Si $D > 20$ mm, mais refus $\leq 25\%$, l'essai se fait dans le moule C.B.R., (sol écrêté à 20 mm),
- ❖ Rappel : $D > 20$ mm, mais refus $> 25\%$, l'essai Proctor ne peut être fait !

IV.2.5.4. Exécution de l'essai :

- ❖ Pour l'essai PROCTOR NORMAL, le remplissage est fait en 3 couches.
- ❖ Pour l'essai PROCTOR MODIFIÉ, le remplissage est fait en 5 couches.

L'ensemble de la surface doit être compactée pour chaque couche comme suit:

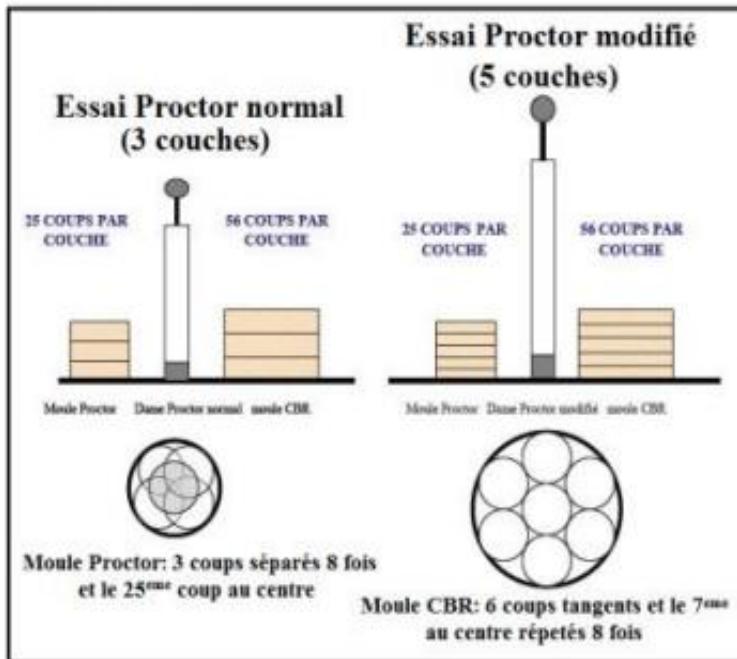


Fig.IV-04 : nombre de coups et couche selon type d'essai de Proctor

IV.2.5.5-Exécution de l'essai :

- ❖ Assembler le moule + embase + disque d'espacement (si moule C.B.R.) + disque de papier au fond du moule (facilite le démoulage) ; puis :
 - Peser l'ensemble : soit P1,
 - Adapter la rechausse.
- ❖ Introduire la 1ère couche et la compacter. Placer le moule sur un socle en béton d'au moins 100 kg, ou sur un plancher en béton de 25 cm d'épaisseur, pour que l'ensemble de l'énergie appliquée le soit à l'échantillon.
 - Faire des rayures sur la surface compactée (améliore la liaison avec la couche suivante),
- ❖ Recommencer l'opération pour chaque couche (3 pour énergie de compactage Normal ; 5 pour Modifiés). La quantité de matériau à utiliser, pour chaque couche, est approximativement :

MOULE	ESSAI PROCTOR MODIFIEE	ESSAI PROCTOR NORMAL
PROCTOR	400 g	650 g
C.B.R.	1 050 g	1 700 g

Tableau IV-02 : Les masses des moules

- ❖ Après compactage de la dernière couche, enlever la rehausse. Le sol compacté doit dépasser du moule de 1 cm environ. Sinon, recommencer l'essai,
- ❖ Araser soigneusement à partir du centre ; on veillera, au cours de l'arasement à ne pas créer de trous sur la surface arasée,
- ❖ Peser l'ensemble juste arasé : soit P_2 .
- ❖ Oter l'embase (et disque d'espacement si nécessaire) et prélever 2 prises sur l'échantillon, l'une en haut et l'autre en bas ; en déterminer la teneur en eau ω ; on prendra la moyenne des deux valeurs obtenues,
- ❖ Augmenter de 2% la teneur en eau ω de votre échantillon de départ et recommencer 3 à 5 fois l'essai, après avoir à chaque fois bien nettoyer votre moule.

IV.2.5.6. Expression des résultats :

- ❖ Tracer la courbe $\gamma d = f(\omega)$, pour chaque point avec les coordonnées suivantes :
 - En abscisse : ω , teneur en eau (voir article 8 ci avant),
 - En ordonnée γd qui s'exprime :

$$\gamma d = \frac{(P_2 - P_1)}{(1 + \omega) \times V \text{ moule}}$$

- ❖ Les coordonnées de l'optimum Proctor se déduisent de la courbe. ; Elles s'expriment :
 - Pour $\gamma_{d\text{opt}}$ en KN/m³ avec 1 décimale,
 - Pour ω_{opt} en % avec 1 décimale

IV.2.5.7. Exemple d'un essai Proctor :

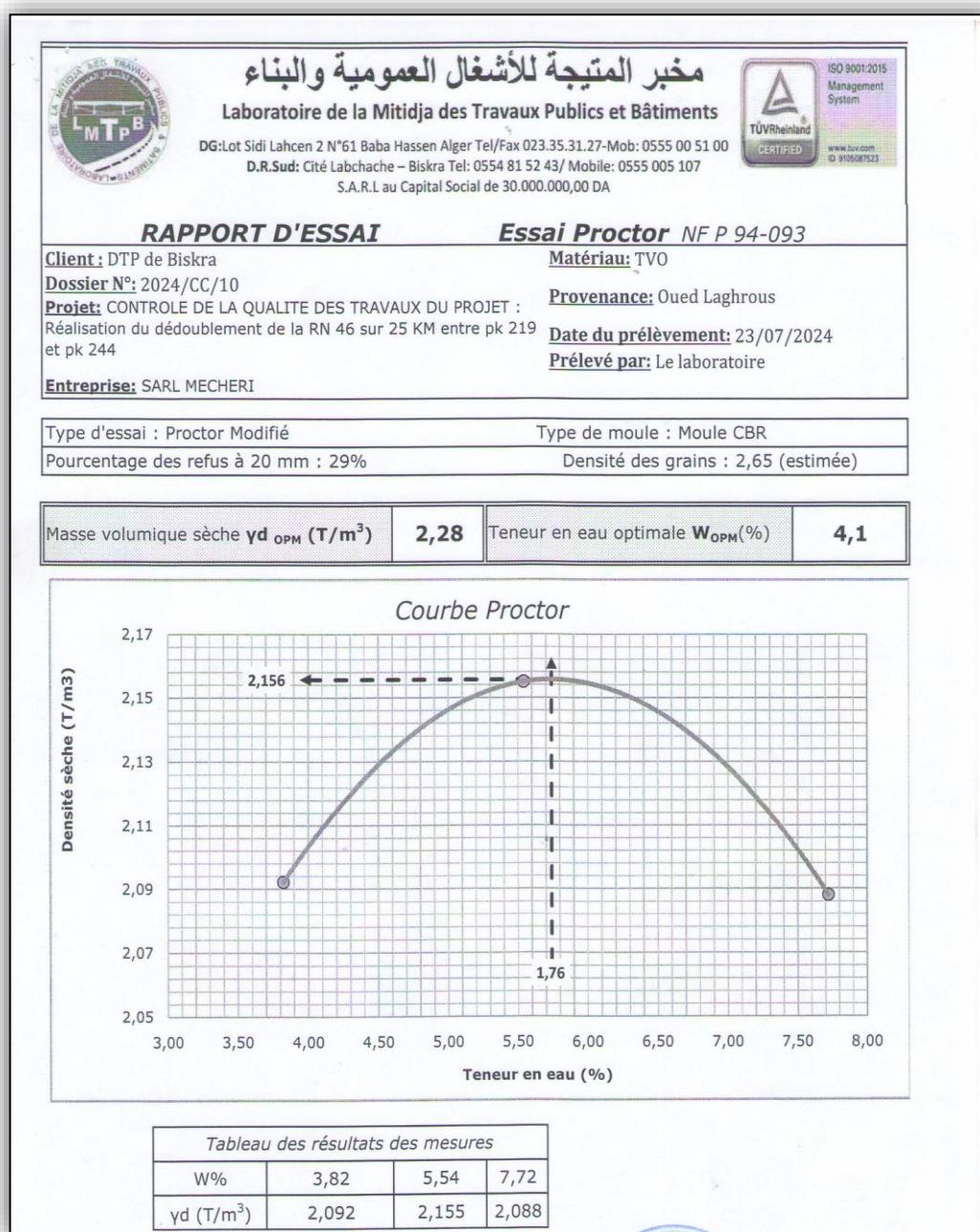


Fig.IV-05 : Rapport d'essai Proctor « TVO Oued Laghrou »

IV.3. Densitomètre à membrane « NF P 94-061-2 » :

IV.3.1. Objectif de L'essai :

Il s'agit de mesurer les masses ou poids volumiques apparents des sols humide γ_h ou sec γ_d sur site, avant foisonnement ou encore après tassement selon les cas.

IV.3.2. Matériel utilisé :

- ❖ Un densitomètre à membrane qui un cylindre dans lequel coulisse un piston.
- ❖ A sa base on adapte une membrane en caoutchouc (donc dilatable).
- ❖ Le piston est actionné par un tube qui le traverse, et qui est terminé par un bouchon purgeur et une poignée.
- ❖ Une graduation à vernier permet de mesurer avec précision le déplacement du piston.

IV.3.3. Dimensions usuelles :

- ❖ Surface de la section : 100 cm²,
- ❖ Vernier au 1/10 de millimètre,
- ❖ Précision de 1 cm³,
- ❖ Si la longueur est de 30 cm, on peut donc mesurer des volumes de 3 dm³



Photo IV-02 : Essai Densitomètre à membrane

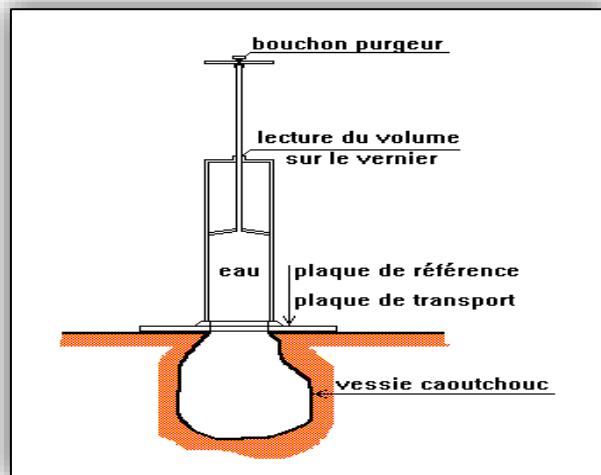


Fig. IV-07 : Densitomètre à membrane

IV.3.4. Déroulement de l'essai

IV.3.4.1. Préparation de l'appareil :

- ❖ Mettre la membrane en place « **attention, elle est fragile** »
- ❖ Poser l'appareil sur la plaque de transport et le remplir d'eau,
- ❖ Eliminer les bulles d'air par le bouchon purgeur.

IV.3.4.2. Préparation du terrain et mise en place du densitomètre :

- ❖ Il est nécessaire de dresser le sol à l'emplacement où on désire mesurer la masse volumique.
- ❖ Ne pas laisser de cailloux ou autres éléments susceptibles de percer la membrane.
- ❖ Fixer solidement la plaque de référence du densitomètre sur le sol à l'aide de chevilles ou autres accessoires,
- ❖ Enlever l'appareil afin d'ôter la plaque de protection de la membrane.

IV.3.4.3. Réalisation de l'essai :

- ❖ Remettre l'appareil en place et appuyer sur la poignée.
- ❖ La membrane vient au contact de la surface du sol,
- ❖ Dès que la résistance est nette, non élastique si les bulles d'air ont bien été éliminées, lire au vernier le volume de référence **V1**,
- ❖ Oter l'appareil et creuser un trou dans le sol à travers l'orifice de la plaque,
- ❖ Recueillir avec le plus grand soin la totalité des éléments ainsi extraits et les peser dans l'état où ils se trouvent, c'est - à - dire humides soit **M_h**,
- ❖ Replacer l'appareil sur la plaque de référence et appuyer sur la poignée.
- ❖ La membrane vient remplir exactement la cavité : lire au vernier le volume **V2**,

IV.3.4.4. Calculs et résultats :

- ❖ Déterminer par séchage à l'étuve ou au four, la teneur en eau **ω** du sol extrait,
- ❖ Calculer le volume de la cavité : **V = V₂ - V₁**,
- ❖ La masse volumique apparente humide **γ_h**
- ❖ La masse volumique apparente sèche **γ_d**

$$\gamma_h = \frac{M_h}{V} \quad \gamma_d = \frac{\gamma_h}{1+\omega}$$

IV.4. Essai à la plaque « NF P 94-117-1 » :

IV.4.1. Définition-But de l'essai :

- ❖ L'essai consiste à mesurer à l'aide d'un appareillage défini, le déplacement vertical du point de la surface du sol situé à l'aplomb du centre de gravité d'une plaque rigide chargée.
- ❖ Le déplacement est appelé déflexion.

IV.4.2. Principe de l'essai :

Pour chaque point :

- ❖ On mesure les déflexions au point considéré au cours de **2 cycles de chargement** à position initial de référence.
- ❖ On calcule, connaissant les charges transmises la plaque et la déflexion correspondantes, les modules de déformation relatifs à chacun des deux cycles.

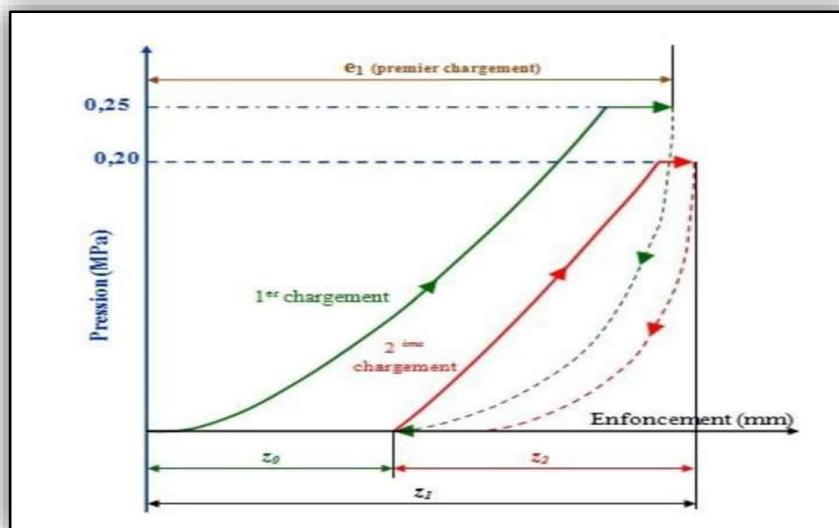


Fig. IV-08 : Les 02 cycles de chargement et déchargement

IV.4.3. Appareillage spécifique :

- ❖ Massif de réaction « véhicule testable dispositif de mis en charge ».
- ❖ Une plaque de 600mm de diamètre.
- ❖ Une poutre BENKELMANN équipée d'un déplacement.
- ❖ Un anneau dynamométrique



Photo IV-03 : Essai à la plaque in situ

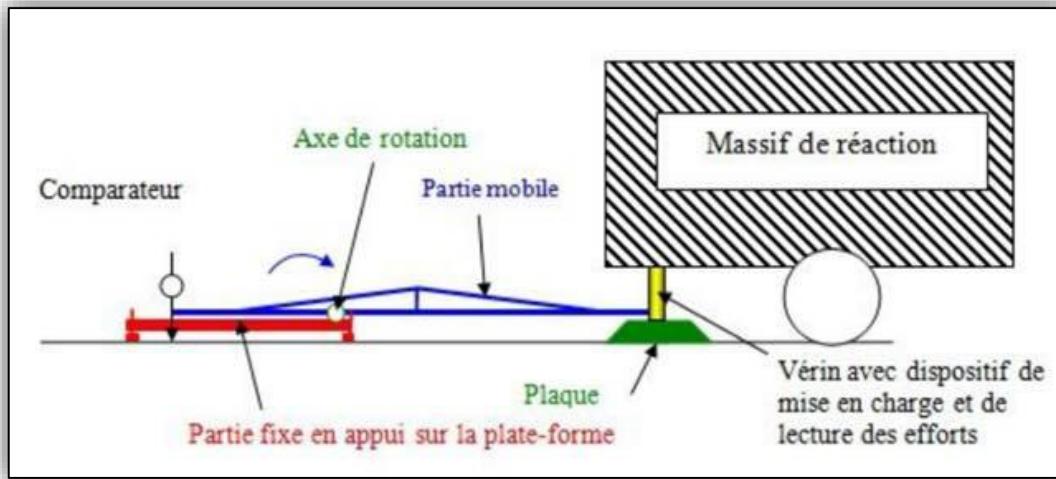


Fig. IV-09 : Essai à la plaque

IV.4.4. Les calculs :

Calcul des modules de déformation :

$$EV = \frac{1.5 Q a}{W}$$

- Q : pression de chargement 1^{ere} chargement 2,5 bars EV1
- Q : pression de chargement 2^{ere} chargement 2 bars EV2
- A : rayon de la plaque en mm
- W : déflexion du massif au centre en mm
- σ : Coefficient de poisson = 0.25

$$EV1 = \frac{1125}{W1} , \quad EV2 = \frac{900}{W2} , \quad K = \frac{EV2}{EV1}$$

IV.5. Gamma densimètre « NF P 94-061-1 » :

IV.5.1. Introduction :

- ❖ Le gamma densimètre est appareil qui permet d'effectuer avec rapidité et précision des mesures d'humidité et de densité sur divers sols.
- ❖ L'appareil permet de déterminer la **masse volumique** des matériaux grâce au comptage de **photons** émis par une **source radioactive (césium 137)**.
- ❖ Des compteurs de mesure situés à la base de l'appareil détectent les **photons gamma** et un microprocesseur convertit leur relevé en valeurs correspondantes de **masse volumique**.
- ❖ Basé sur le principe de la thermalisation neutronique, le gamma densimètre humidimètre permet aussi de déterminer la **teneur en eau** des sols.
- ❖ L'hydrogène de l'eau contenue dans le matériau testé ralentit les neutrons émis par la **source radioactive (américium 241 beryllium)**.
- ❖ Le gamma densimètre est un appareil soumis à des réglementations très strictes en matière de radioprotection et ne peut être utilisé que par des opérateurs autorisés et portant un dosimètre.

IV.5.2. But de l'essai :

Le But de l'essai c'est de déterminer :

- ❖ La masse volumique des sols.
- ❖ La teneur en eau réelle sur le terrain.
- ❖ Le pourcentage de compactage des sols.

IV.5.3. Accessoires :

- ❖ Gamma-densimètre.
- ❖ Bloc de référence.
- ❖ Grattoir « Guide de perçage ».
- ❖ Marteau.
- ❖ Tige de perçage.
- ❖ Extracteur.

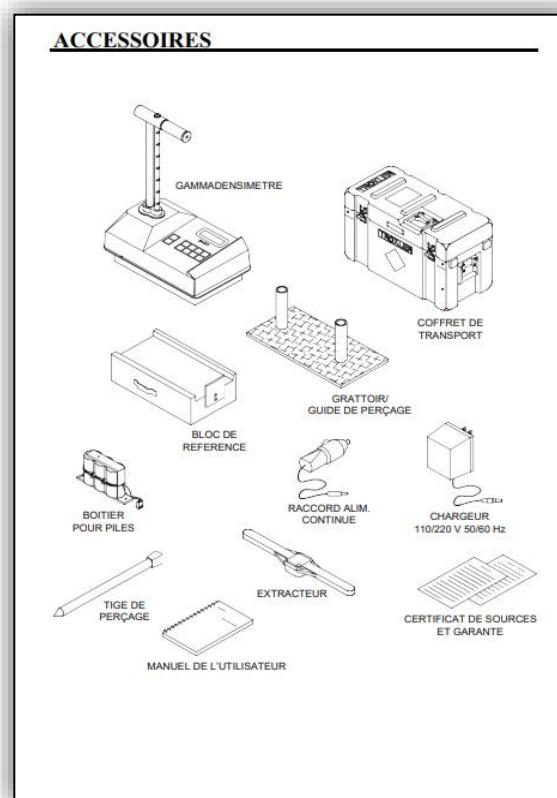


Fig. IV-10 : Accessoires gamma densimètre



Photo IV-04 : Véhicule de transport de gamma densimètre



Photo IV-05 : Radiomètre



Photo IV-06 : dosimètre passif

IV.5.4. Les étapes de l'essai :

- ❖ Désignée les points de mesure de densité
- ❖ Placé le gamma densimètre sur le bloc de référence pour étalonnage et lecture de l'environnement pendant quelque minutes.
- ❖ Gratté et nettoyé l'endroit de mesure et percé le trou à l'aide de tige et la plaque de guide de perçage.
- ❖ Enlevée la plaque de guide de perçage et placé le gamma densimètre.
- ❖ Allumé l'appareil et entré la valeur Proctor qu'on a déjà eu au laboratoire.
- ❖ Faire descendre la tige de l'appareil dans le sol.
- ❖ Appuyé sur le bouton START et après 15 secondes ont obtient les résultats sur l'écran de l'appareil et ses résultats sont la teneur en eau, pourcentage de Proctor réelle.



Photo IV-07 : Etalonnage de TROXLER



Photo IV-08 : Création d'un trou



Photo IV-09 : Mise en place du TROXLER



Photo IV-10 : Lecture des données

5.5) Les résultats :

5.5.1) Essai a la plaque :

Les résultats de contrôles de l'essai à la plaque sur la RN46

Localisation	Module de déformation EV1 (bars)	Module de déformation EV2 (bars)	Coefficient de Compactage EV2/EV1	Qualité du compactage
Axe profil N° 382	2791.56	2941.19	1.054	Très bon compactage
Gauche profil N° 386	1293.10	1666.67	1.290	bon compactage

5.5.2) Gamma densimètre :

Les résultats de contrôle de l'essai de gamma densimètre

Les points	1	2	3	4	5	6	7
Teneur en eau (%)	1.76	2.14	2.11	1.96	1.54	2.17	2.51
Densité (t/m ³)	2.19	2.19	2.26	2.21	2.26	2.19	2.19
Densité de référence (t/m ³)	2.35						
Compacité (%)	93	93	96	94	96	93	93

Chapitre V

ESSAI DE CONTROLE DE DURETE ET D'USURE

V.1 - Essai de Los Angeles « NF P 18-573 » :

V.1.1. Principe de l'essai :

L'essai mesure la quantité d'élément inférieure à 1.6 mm produite en soumettant les matériaux au choc des boulets normalisé dans la machine los Angeles telles qu'elle est décrit dans présent essai la granularité du matériau soumis à l'essai est choisi parmi les six classes granulaires de la granularité du matériau et la masse de la charge de bouletés varie suivant les classes granulaires :

- ❖ La classe 4/6.3 mm
- ❖ La classe 6.3/10 mm
- ❖ La classe 10/14 mm
- ❖ La classe 10/25 mm « doit contenir 60% de 10/16 mm »
- ❖ La classe 6/31.5 mm « doit contenir 60% de 16/25mm »
- ❖ La classe 25/50 mm « doit contenir 60% de 25/40 mm »

V.1.2. But de l'essai :

Le présent essai à pour Objecte et définir le mode opérationnelle pour la mesure de la résistance à la fragmentation par chocs des éléments d'un échantillon de granulats.

V.1.3. Domaine d'application :

L'essai de los Anglons s'applique aux granulats d'origine naturelle ou artificielle utilisé dans le domaine du bâtiment et du génie civil.

V.1.4. Appareillage :

- ❖ Tamis de 1.6 mm, 10 mm, 16 mm
- ❖ Balance avec précision relative de 0.1%
- ❖ Des boules
- ❖ Machine de los anglons
- ❖ Plateau : en tôle pouvant entre sous les plus grands du diviseur.
- ❖ Brosses pinceaux

Observation :

Le matériel est nécessaire pour effectuer l'échantillonnage du matériau selon la norme **P 18-553** et une analyse granulométrique par tamisage selon la norme **P 18-560**



Photo V-01 : Machine Los Angeles



Photo V-02 : Echantillon avant l'essai



Photo V-03 : Echantillon après l'essai

V.1.5. Préparation de l'échantillon pour l'essai :

- ❖ La masse de l'échantillon envoyé au laboratoire sera au moins égale à **15Kg**
- ❖ Tamiser l'échantillon à sec sur chacun des tamis de la classe granulaire choisie, en commençant par le tamis le plus grand.
- ❖ Laver le mâtereau, tamiser et sécher à l'étuve a **105C°**
- ❖ La masse de l'échantillon pour l'essai sera de **5Kg**.

V.1.6. Exécution l'essai :

- ❖ Introduire avec précaution la charge des bulles correspondant à la classe granulaire choisie
- ❖ Placer l'échantillon dans la machine Los Angles pour l'essai.
- ❖ La masse de charge est fixe conformément aux indications du tableau ci-après :

CLASSE GRANULAIR (mm)	Nombre de boulets	Masse totale de la charge (g)
4-6.3	7	3080 (+20)
6.3-10	9	3960
10-14	11	4840(-150)
10-25	11	4840 (+20)
16-31.5	12	5280
25-50	12	5280 (-150)

Tableau V-01 : Masse de charge selon la classe granulaire

- ❖ Fait effectuer à la machine 500 rotations, sauf pour 25-50 mm ou l'on effectuer 1000 rotations a une vitesse régulière compris entre 30-33 tr/mn.
- ❖ Recueillir le granulat dans un bac placer sous l'appareil, en ayant soin d'amener l'ouverture juste au-dessus de ce bac, afin d'éviter les pertes de matériau.
- ❖ Tamiser le matériau contenu dans le bac sur le tamis 1.6 mm, le matériau étant pris en plusieurs fois afin de faciliter l'opération
- ❖ Laver le refus au tamis 1.6 mm, égoutter et sécher a l'étuve 105C⁰, jusqu' à masse constant.
- ❖ Peser ce refus une foi sèche soit m₂ le résultat de la pesée.
- ❖ On prend la classe 10/25 mm ce t à dire 11 boulets et 500 rotations.

V.1.7. Expression des résultats :

Le coefficient los Anglons (LA) est, par définition, le rapport :

$$\text{LA} = \frac{m_3}{m_1} \times 100$$

Où :

- ❖ m₃ = m₁ – m₂ : est la masse sèche de la fonction du matériau passant après l'essai au tamis de 1.6 mm en grammes.
- ❖ m₁ : la masse initiale d'échantillon.
- ❖ m₂ : la masse des éléments supérieurs a tamis 1.6 mm

V.1.8 RAPPORT D'ESSAI :

❖ Test Carrière TAHRAOUI - FOUGHALA :

- LA « Gravier 15/25 » = 26.20%
- LA « Gravier 08/15 » = 22.22%
- LA « Gravier 03/08 » = 19.97%

V.2 - Essai d'usure Micro-Deval « NF P 18-572 » :

V.2.1. But de l'essai :

- ❖ L'essai Micro-Deval vise à caractériser la résistance d'un échantillon de granulats à l'usure en présence d'eau par contact avec des billes d'acier à l'intérieur d'un cylindre en rotation sur un banc d'essais.

V.2.2. Définition de l'essai :

- ❖ L'essai consiste à mesurer l'usure des granulats produite par frottements réciproques dans un cylindre en rotation dans des conditions bien définies.
- ❖ La granularité du matériau soumis à l'essai est choisi parmi les classes granulaires :
 - 4,0 - 6,3mm
 - 6,3 - 10 mm
 - 10 - 14mm
 - 25 - 50mm.
- ❖ Pour les essais effectués sur les gravillons entre 4 et 14mm une charge abrasive est utilisée.
 - M : est la masse du matériau soumis à l'essai,
 - m : la masse des éléments inférieurs à 1,6 mm produits au cours de l'essai,
- ❖ la résistance à l'usure s'exprime par la quantité : $MD = m/M \times 100$
- ❖ Par définition, cette quantité sans dimension, est appelée, suivant la méthode employée :
 - Coefficient micro-deval sec du granulat (MDS),
 - Coefficient micro-deval en présence d'eau du granulat (MDE),



Photo V-04 : Machine Micro-Deval.

V.2.3. Les appareillages :

V.2.3.1 Appareillage d'usage courant :

- ❖ Jeu de tamis de 1,6/4/6,3/8/10/14/25/40 et 50 mm, le diamètre des montures ne devait pas être inférieur à 200 mm
- ❖ Matériel nécessaire pour effectuer l'échantillonnage du matériau (**P 18-553**) et une analyse granulométrique par tamisage (**P 18-560**)

V.2.4. Préparation de l'échantillon pour essai :

V.2.4.1. Prise d'échantillon :

- ❖ La masse de l'échantillon envoyée au laboratoire est :
 - au moins égale à **2Kg** pour les gravillons compris entre 4 et 14mm.
 - au moins égale à **40Kg** pour les gravillons compris entre 25 et 50mm.
- ❖ L'échantillon doit être préparé suivant les prescriptions de la **norme p18-553**.

V.2.4.2. Préparation de l'échantillon pour essai :

L'essai doit être effectué sur un lot de granulats ayant une granularité conforme à l'une des classes granulaires types, les 25-50 mm doivent contenir 60 % de 25-40 mm.

- ❖ Laver l'échantillon et le sécher à l'étuve à 105°C.
- ❖ Tamiser à sec sur les tamis de la classe granulaire choisie :
 - La masse de l'échantillon pour essai est de **500g ± 2g** pour la classe 4-14mm.
 - La masse de l'échantillon pour essai est de **10Kg ± 20g** pour la classe 25-50mm.
 - au moins égale à **2Kg** pour la classe 4 et 14mm.

V.2.5. Exécution de l'essai :

V.2.5.1. Essai sur les gravillons compris entre 4 et 14 mm :

- ❖ Introduire dans le cylindre d'essai, déposé l'ouverture vers le haut, la charge abrasive, puis les **500g** de matériau préparent suivant la disposition du paragraphe 4.
- ❖ La charge est fixée conformément aux indications du tableau ci-après :

Classe granulaire (mm)	Charge abrasive (g)
4-6.3	2000 ± 5
6.3-10	4000 ± 5
10-14	5000 ± 5

Tableau V-02 : Les charges abrasives

- ❖ Pour effectuer un essai en présence d'eau, on ajoute **2,5 L** d'eau.
- ❖ Mettre les cylindres en rotation à une vitesse de **100tr/mn ± 5tr/mn** pendant **2h** ou **12000t**.
- ❖ Après essai, recueillir le granulat et la charge abrasive dans un bac en ayant soin d'éviter les pertes de granulat.
- ❖ Laver soigneusement à la pissette l'intérieur du cylindre, en recueillant l'eau et les parties minérales entraînées.
- ❖ Tamiser le matériau dans le bac sur le tamis de 1,6 mm ; la charge abrasive sera retenue sur un tamis de 8mm.
- ❖ Laver l'ensemble sous un jet d'eau et retirer la charge abrasive (à l'aide d'un aimant par exemple). Procéder en plusieurs fois pour faciliter l'opération.
- ❖ Sécher le refus à 1,6mm à l'étuve à 105°C, jusqu'à masse constante.
- ❖ Peser ce refus au gramme près, soit le résultat de la pesée.

V.2.5.2. Essai sur les gravillons compris entre 25 et 50mm :

- ❖ Introduire dans le cylindre d'essai, déposé l'ouverture vers le haut les **10000g** de matériau prépare suivant la disposition du paragraphe 4.
- ❖ Pour effectuer un essai en présence d'eau, on ajoute **2 L** d'eau.
- ❖ Mettre les cylindres en rotation à une vitesse de **100 tr/mn ± 5tr/mn** pendant **2h et 20mn** ou **14000t**.
- ❖ Après l'essai, recueillir le granulat dans un bac en ayant soin d'éviter les pertes d'élément.
- ❖ Laver soigneusement à la pissette l'intérieur du cylindre, en recueillant dans le bac l'eau et les parties minérales entraînées.
- ❖ Tamiser le matériau du bac sur le tamis de **1 ,6mm** en prévoyant un tamis de décharge.
- ❖ Laver l'ensemble sous nu jet d'eau en procédant en plusieurs fois pour faciliter l'opération.
- ❖ Sécher le refus à **1,6 mm** à l'étuve à **105°C**, jusqu' à une masse constante.
- ❖ Peser ce refus au gramme près, soit m' le résultat pesé.

V.2.6. Expression des résultats :

Le coefficient micro-deval (Mde) ou (Mds) est par définition le rapport :

$$100 * \frac{m}{M} = 100 * \frac{M-m}{M}$$

Ou :

M : est la masse sèche de l'échantillon pour essai (500 ou 1000g).

M1=M-m : est la masse sèche de la fraction du matériau passant après au tamis de 1,6mm.

V.2.7 RAPPORT D'ESSAI :

❖ Test Carrière TAHRAOUI - FOUGHALA :

- MDE « Gravier 15/25 » = 11,70%
- MDE « Gravier 08/15 » = 10,34%
- MDE « Gravier 03/08 » = 11,04%

V.3. Mesure du Coefficient de friabilité des sables « NF P 18-576 » :

V.3.1. Bute de l'essai :

- ❖ L'essai consiste à mesurer l'évolution granulométrique des sables produit par fragmentation dans un cylindre en rotation à l'aide d'une charge en présence d'eau.
- ❖ L'élément fins du sable, inférieur à **0.2 mm**, ne sont pas étudiés
- ❖ Le sable est écrête a **2 ou 4 mm**

V.3.2. Définitions :

L'évolution granulométrique est caractérisée par la quantité d'élément inférieure à **0.1 mm** produits au cours de l'essai si

- ❖ **M** est la masse de matériau soumis à l'essai
- ❖ **m** la masse des éléments inférieurs à **0.1 mm** produits au cours de l'essai.

Le coefficient de friabilité du sable « F_s » est :

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

V.3.3. Appareillage :

V.3.3.1. Appareillages d'usage courant :

Matériel nécessaire effectuer l'échantillonnage du matériau et une analyse granulométrique par tamisage, dont un jeu de tamis de 0,1- 0,2 - 1 - 2 - 4 et 8 mm d'ouverture et au moins 200 mm.

V.3.3.2. Appareils MICRO Deval :

Charge broyant constituée par des billes spécifique en acier inox Z 30 C 13 du diamètre 30 (+0.1,-0.5) mm, 18(0.1,-0.5) mm, 10 (± 0.5)

V.3.4. Préparations de l'échantillon pour essai :

- ❖ La masse de l'échantillon envoyer au laboratoire est au moins égale à **2 Kg**.
- ❖ Elle est partagées suivants la prescription de la norme **P 18-553**.
- ❖ L'essai est effectué sur un sable 0.2 -2 mm ou 0.2 – 4 mm
- ❖ Tamiser par voie humide le matériau sur les tamis 0.2 et 2 4 mm.

- ❖ Sécher a l'étuve à 105°C jusqu'à masse constante.
- ❖ Homogénéiser et peser l'échantillon pour l'essai qui doit être **500g (\pm) 2g** préparé la charge broyant de la façon suivante :
 - Prendre 9 billes de 30 mm de diamètre, si la masse comprise entre 925 et 985 g.
 - Ajouter 21 billes de 18 mm de diamètre si la masse comprise entre 440 et 500g.
 - Compléter avec des billes de 10 mm de diamètre, de façon que la masse totale de la charge soit de 2500g (\pm) 4g.
- ❖ L'usure de la charge doit être contrôlée périodiquement.
- ❖ Les billes de 18 mm et 30 mm sont contrôlées par pesée de l'ensemble et remplacement des plus usées par pesées élémentaires, jusqu'à se retrouver à l'intérieur des tolérances.
- ❖ Les billes de 10 mm sont contrôlées en les pesant par lot de dix en déca d'une masse de 34 g par lot elles sont remplacées par des billes conformes.

V.3.5. Introduction de l'essai :

- ❖ Ajouter **2.5 L** de l'eau.
- ❖ Mettre le cylindre en rotation a la vitesse de **100 tr/mn (\pm) 5tr/mn** pendant **1500t ou 15 mn**.
- ❖ Verser ensuite lentement la totalité du contenu du cylindre sur deux tamis superpose de 8 mm (pour recueillir la charge abrasive) et de 0.1mm.
- ❖ Laver l'ensemble sous un jet d'eau, jusqu'à eau clair, puis enlève le tamis de 8 mm.
- ❖ Sécher le refus au tamis de 0.1 mm a l'étuve a105, jusqu'à masse constante.
- ❖ Tamiser à sec le refus à 0.1 mm.
- ❖ Peser a 0.1%, peser le refus a 0.1 mm soit m' cette masse.

V.3.6. Expression des résolutions :

La masse de l'élément inférieure à 0.1 mm produits durant l'essai égale $m = 500 - m'$

Le coefficient de friabilité mesurer est alors :

$$F_s = 100 \times \frac{500 - m'}{500} = \frac{m}{s} \quad \text{arrondi a l'unite la plus proche.}$$

Chapitre VI

**ESSAI DE CONTROLE DES
ENROBES ET DES BITUMES**

VI.1 - Essai d'extraction du bitume Au KUMA GAWA « NF EN 12697-1 » :**VI.1.1. But de l'essai :**

L'essai est fait pour déterminer la teneur en bitume et l'analyse granulométrique d'un matériau bitumineux « **GB ou BB** ».

VI.1.2. Appareillage :

- ❖ Série des tamis.
- ❖ Appareil KUMA-GAWA
- ❖ Toluène.
- ❖ Brosses pinceau.
- ❖ Balance.
- ❖ Cartouche.
- ❖ Plateau.
- ❖ Dispositif de lavage.
- ❖ Etuve.

VI.1.3. Exécution de l'essai :

- ❖ Nous avons prélevé un échantillon de **GB 0/20** sur le chantier de la **RN46**.
- ❖ L'échantillon a été placé dans un plateau en acier à l'intérieur du four pendant une journée.
- ❖ On a pris une quantité de cet échantillon et le versé dans un cartouche.
- ❖ On a mis le cartouche (rempli de béton bitume) dans l'appareil de Kuma Gawa.
- ❖ On a ajouté une quantité suffisante de TOLUENE dans la cartouche pour séparer le bitume et les agrégats.
- ❖ On laisse l'opération jusqu'à ce que l'on remarque la clarté de l'eau qui sort de filtre.
- ❖ Après on doit mettre les agrégats à étuve puis on les laverait.
- ❖ En fin nous effectuons l'analyse granulométrique pour tracer la courbe granulométrique.



Photo VI-01 : Prise de l'échantillon



Photo VI-02 : Cartouche



Photo VI-03 : Appareil de KHUMA GAWA



Photo NI-04 : Nettoyage de la grave

VI.4. Les résultats :

مخبر المتيجة للأشغال العمومية والبناء Laboratoire de la Mitidja des Travaux Publics et Bâtiments DG: Lot Sidi Lahcen 2 N°61 Baba Hassen Alger Tel/Fax 023.35.31.27 - Mob: 0555 00 51 00 D.R.Sud: Cité Labchache - Biskra Tel: 0554-81 52 43 / Mobile: 0555 005 107 S.A.R.L au Capital Social de 30.000.000,00 DA		ISO 9001:2015 Management System TÜV Rheinland CERTIFIED www.tuv.com ID: 910508102	
PV DE CONTRÔLE DE L'ENROBE PAR EXTRACTION DE LIANT			
METHODE KUMAGAWA Norme NF T 66-001			
Client:	DTP BISKRA		
Dossier N°:	2024/CC/10		
Chantier:	Contrôle technique des travaux de Lot N°02 : Modernisation de la RN 01 du Pk 1148 au Pk 1163 sur 15 Km. Entreprise: SARL MECHERI Poste d'enrobés: SARL MECHERI		
	Prélèvement effectué par:	BENDJABALLAH Z	
	Prélèvement N°:	2025/PN/39-2	
	Lieu de prélèvement:	PLANCHE D'ESSAI RN46 1ière couche PF35 (2ième camion)	
	Date de prélèvement:	09/03/2025	
	Température de l'enrobé:	145°C	
	Date des essais:	09-10/03/2025	
	Chargé des essais:	Bouadjama M	
Section Réalisée			
Date:	09/03/2025	Section revêtue:	PLANCHE D'ESSAI N°02 RN46 1ière couche GB du PF33 au PF39 section droite dédoublée
Climat:	Ensoleillé	Etat du support:	Sec et propre
Heure:	17H:00	Déformations:	/
Couche:	GB 0/20	Accrochage:	Acceptable
Analyse granulométrique Norme NF P18-560			
Tamis	%	Fuseau	
(mm)	P	Min	Max
20	94	85	100
10	68	65	75
6,3	53	45	60
2	27	25	40
0,08	6	6	9
Teneur en bitume		4,81	
Surface spécifique		10,39	
Module de richesse		2,18	
Observations : La courbe du mélange es'insère dans le fuseau de spécification GB0/20 ; La teneur en bitume est très élevée ; La teneur en fines est bonne.			
Teneur préconisée		4,09	
Tolérance		Min	3,89
		Max	4,29

Analyse Granulométrique

Fig. II-01 : Contrôle de l'enrobe par extraction de liant « GB 0/20 ».

VI.2 - Essai de hauteur au sable « NF P 98-216-1 » :**VI.2.1. But de l'essai :**

L'essai de la mesure de la profondeur au sable sert à caractériser, d'une certaine façon, la rugosité géométrique d'un revêtement routier et ceci en envalant la hauteur du sable infiltre dans les interstices afin de définir une profondeur moyenne de ces interstices.

VI.2.2 Principe de l'essai :

- ❖ Le principe de l'essai est de mesurer hauteur au sable.
- ❖ La méthode consiste à étaler un certain volume de sable à granulométrie serrée (0,315-0,16) sur la surface du revêtement.
- ❖ On dira que la profondeur de ces aspérités s'appelle hauteur de sable.
- ❖ L'essai de la mesure de la profondeur au sable sert à caractériser d'une certaine façon, la rugosité géométrique d'un revêtement routier pour mieux apprécier l'état de surface de ce revêtement.

VI.2.3. Appareillage :

- ❖ Un disque de 65mm de diamètre revêtu d'une plaque de caoutchouc d'épaisseur de 1,5 à 2,5mm et pourtant un ergot formant une poignée sur l'autre face.
- ❖ Un cylindre de 20 mm de diamètre et de 79,05 mm de hauteur d'une capacité de 25 cm³.
- ❖ Une certaine quantité de sable (25 cm³ 50 cm³) dont la dimension des grains varie de 0,16 mm 0,315 mm.
- ❖ Une règle graduée pour la mesure du diamètre.
- ❖ Une brosse pour nettoyer les poussières et autres éléments qui remplissent les canaux et éviter d'user les sommets des granulats.
- ❖ Un récipient gradué.

VI.2.4. Exécution de l'essai :

Les différentes étapes suivies pour l'exécution de l'essai sont :

- 1) Nous nettoyons bien la surface d'exécution avec la brosse pour éliminer les grains des poussières déjà présents.

2) Ensuite, on verse le volume de sable sur la surface de la chaussée.

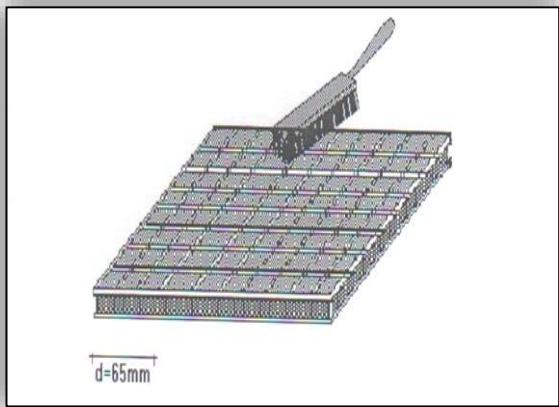


Fig. VI.02 : Nettoyage de la chaussée

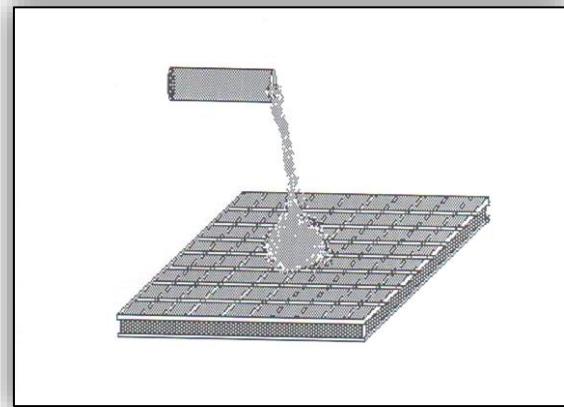


Fig. VI.03 : Verse un volume de sable sur la surface de la chaussée

- 3) A l'aide d'un disque plat, en étale soigneusement le sable sur la surface en faisant des mouvements circulaires et de plus en plus larges de façon à obtenir une plage ronde jusqu'à remplissage de toutes les creux de la chaussée.
- 4) En fin, on mesure avec la règle deux diamètres perpendiculaires de la plage, pour déterminer un diamètre moyen.

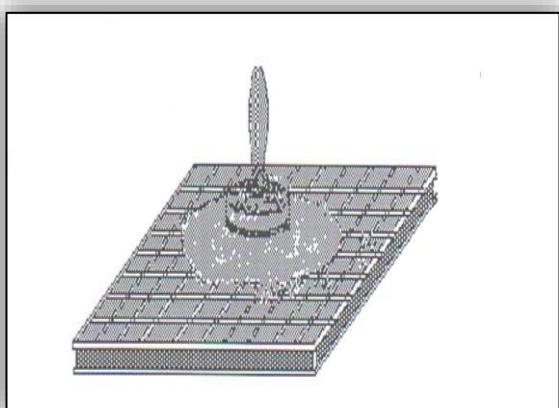


Fig. VI-04 : Etale soigneusement le sable sur la surface

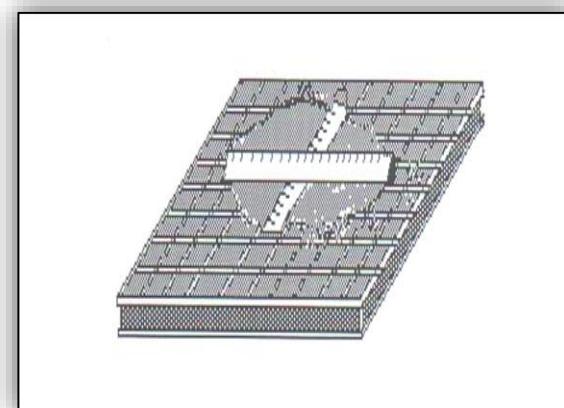


Fig. VI-05 : Mesure avec la règle deux diamètres perpendiculaires

VI.2.5. Calcul de la surface :

La surface est donnée par la formule suivante :

$$S = \frac{\pi * D(\text{moye})}{4}$$

La hauteur au sable « HS » est donnée par la formule suivante :

$$Hs = \frac{\text{volume } (v) \text{ mm}^3}{\text{surface}(s) \text{ mm}^2}$$

VI.2.6. Classification des textures superficielles :

D'après la classification faite par le (LCPC : tableau ci-dessus) on peut classer notre revêtement comme étant à texture grossière.

PROFONDEUR MOYENNE AU SABLE (HS) : (mm)	TEXTEUR SUPERFICIELLES :
HS<0,20	Très fine
0,20<HS<0,40	Fine
0,40<HS<0,80	Moyenne
0,80<HS<1,2	Grossière
HS>1,2	Très grossière

Tableau VI-01 : Classification des textures superficielles

- ❖ Il est possible de suivre l'évolution de la rugosité géométrique dans le temps en pressant les mesures sous forme d'une courbe en, mettant les valeurs de HS en ordonnée et le temps en mois en abscisse...
- ❖ Lesversements doivent présenter une texture superficielle ou macro rugosité géométrique suffisamment grossière pour maintenir la rugosité.
- ❖ Cette texture est appréciée par l'essai de (Hauteur au sable) HS doit dépasser 0,4 mm pour les routes ordinaires, 0,8 mm à 1,2 mm pour les routes rapides on peut également déterminer par le (drépanocytaire) l'aptitude ou drainage, qui caractérise bien la macro rugosité.
- ❖ On constate aussi une forte macro texture a un effet bénéfique sur l'évacuation superficielles des eaux de ruissellement et sur la réduction des projections d'eau ainsi que sur les propriétés optiques d'un revêtement humide (suppression de l'effet miroir,...) mais elle peut conduire à augmenter le bruit de contact pneumatique chaussée et la résistance au roulement.

- ❖ Une faible macro texture est susceptible d'entraîner, par temps de forte pluie et à vitesse élevée, une perte d'adhérence qui résulte de la persistance d'une lame d'eau entre le pneumatique et le revêtement engendrant ainsi le phénomène d'aquaplanage, lequel se traduit par une perte de maîtrise de la conduite.
- ❖ Les mesures contractuelles de contrôle de la macro texture ne visent que les couches de roulements provisoires lorsque, exceptionnellement, les couches de roulement définitives sont différées au-delà de l'achèvement des chantiers.
- ❖ C'est avec les enduits superficiels classiques qu'il est le plus facile d'obtenir des revêtements très rugueux, surtout, si on emploie des liants spéciaux (bitume ou goudron modifiés et des gravillons artificiels (bauxites) calciné, etc..., mais ces derniers procès sont coûteux. On peut également obtenir des enrobés grenus, reliés avec des gravillons gros d'au moins 10 mm : le revêtement de texture fine (contis, sable) sont donc peu recommandable pour les routes rapides.

VI.2.7. Exemple de test :

	Volume (v) cm ³	Diamètre (d1) cm	Diamètre (d2) cm	Diamètre moyen (d) cm	Surface (s) cm ²	hauteur au sable (hs) cm
point N°1	25	32	30	31	754,385	0,033
point N° 2	50	35	32	33,5	881	0,056
Valeur moyenne			0,0445			

Tableau VI-02 : Rapport d'essai

- ❖ Hauteur au sable par (mm)=0,445m
- ❖ $0,4 < HS < 0,8$ donc notre revêtement est un texture moyenne.

VI.3. Essai de compacité et épaisseur « NF EN 12697-27 » :**VI.3.1. But de l'essai :**

- ❖ Calcul l'épaisseur de la couche « **GB ou BB** ».
- ❖ Calcul du taux de compacité.

VI.3.2. Les matériels utilisés :

- ❖ Carotteuse
- ❖ Balance spéciale
- ❖ Récipient sous forme de grillage
- ❖ Règle

**Photo VI-05 : Carotteuse****Photo VI-06 : Carotte.****Photo VI-07 : Balance****Photo VI-08 : Récipient sous forme de grillage**

VI.3.3. Etapes d'essai :

- ❖ Faire de carottage sur la couche ciblé pour le teste.
- ❖ Nettoyage de l'échantillon
- ❖ Mesure l'épaisseur de l'échantillon.
- ❖ Pesée l'échantillon.
- ❖ Paraffiné l'échantillon.
- ❖ Pesée la carotte + paraffine.
- ❖ Pesse la carotte dans l'eau.

VI.3.4. Présentation des résultats :

Section : PF :27 au PF :83 1^{ère} couche GB 0/20 Coté droit.

N° Carotte	Lieu de prélèvement (Pk/Profil)	Emplacement (A/D/G)	Ep (mm)	MVA (Kg/m ³)	MVRE (Kg/m ³)	Compacité (%)	Spécifications MTP
01	PF : 27	A	73	2262	2505	90,3	Compacité in-situ entre 88% et 96% de la compacité Marshall Ecart, par défaut sur la compacité relative individuelle, toléré : 2 %
02	PF : 40	D	79	2236		89,3	
03	PF : 52	G	69	2255		90,0	
04	PF : 64	A	57	2265		90,4	
05	PF : 76	D	73	1873		88,5	
06	PF : 83	G	96	2307		92,1	

Observation :

- La densité moyenne est de l'ordre de : 2257 kg/m³;
- La compacité moyenne est de l'ordre de : 90,1 % ;
- L'épaisseur moyenne est de l'ordre de : 75mm ;
- La couche d'accrochage est acceptable ;
- Les compacités obtenues sont bonnes, elles s'insèrent dans la fourchette de tolérance.

Fig. VI-06 : Rapport d'essai de carottage couche GB 0/20

VI.4 - Caractéristiques des liants :

VI.4.1. Introduction :

Un liant hydrocarboné est d'une manière générale un matériau adhésif contenant du bitume, du goudron, ou les deux. Cet élément agrégé avec des granulats fournit des « matériaux enrobés », la masse volumique du bitume est prise égale à **1,03 t/m³**.

VI.4.2. Histoire :

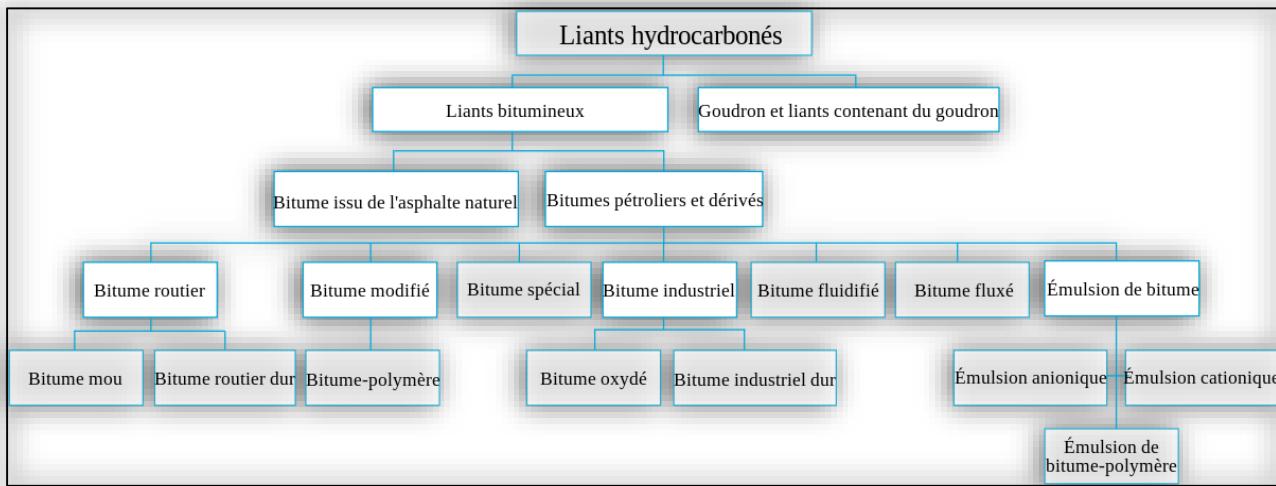
On distinguera, très schématiquement, les périodes suivantes :

- ❖ De 1900 à 1930 : Goudron de houille
- ❖ De 1930 à 1950 : Emulsions de bitumes
- ❖ Jusqu'en 1970 : les bitumes purs
- ❖ Les années 70 : les bitumes polymères
- ❖ Les années 80 : les liants modifiés et les additifs
- ❖ Les années 90 : les bitumes spéciaux

VI.4.3. Classification des liants hydrocarbonés :

Une classification des liants est donnée dans la norme européenne EN 12-597. On différencie d'abord les liants bitumineux, qui regroupent des liants ou mélanges de liants et de granulats qui contiennent du bitume, et les liants à base de goudron. Les liants bitumineux sont ensuite classés l'origine du bitume : naturelle ou dérivée du pétrole. Les liants bitumineux issus du pétrole sont quant à eux différenciés selon leur structure :

- ❖ **Bitume pur**,
- ❖ **Bitume fluidifié**, bitume additionné d'un diluant
- ❖ **Bitume fluxé**, bitume additionné d'une huile de fluxage
- ❖ **Bitume modifié** : les propriétés rhéologiques ont été modifiées pendant la fabrication.
- ❖ **Emulsionne bitume** et selon leur usage :
- ❖ **Bitume routier** : bitume utilisé pour l'enrobage des granulats destinés à la construction et l'entretien des routes et des structures assimilées ;
- ❖ **Bitume industriel** : par opposition au précédent, bitume servant à d'autres usages que la construction et l'entretien des routes et des structures assimilées.



VI.4.4. Essais pour la caractérisation des liants :

Il existe plusieurs essais possibles sur les liants, notamment :

- ❖ Les analyses physico-chimiques
- ❖ Indicateurs traditionnels pour la caractérisation des liants bitumineux
- ❖ Les essais de simulation du vieillissement
- ❖ Les méthodes d'étude spécifiques aux liants modifiés
- ❖ Les essais rhéologiques
- ❖ Les essais mécaniques pour caractériser la rupture
- ❖ Les essais de traction

VI.4.5. Les additifs :

- ❖ Les additifs sont des matériaux ajoutés en petites quantités aux composants de l'enrobé pour en améliorer les propriétés.
- ❖ Ils peuvent être introduits soit dans le mélange au moment du malaxage soit directement dans la cuve bitume.
- ❖ Pour améliorer l'affinité réciproque entre le liant et les granulats et en assurer la pérennité, des dopes d'adhésivité peuvent être utilisés.
- ❖ Il s'agit principalement de composés tensioactifs azotés dérivés des acides gras (amines, polyamines...) dosés à environ 0,3 à 0,6% du bitume.
- ❖ La chaux ou les fines calcaires, dosées jusqu'à 1 % du bitume, peuvent également être utilisées comme agents dopants.

VI.4.6 Fiche Technique des liants :

LES BITUMES ROUTIERS DE NAFTAL
BITUMES PURS 40/50, 60/70 ET 80/100

Bitume Naftal
Des Solutions qui Tiennent la Route

Nom Commercial :
Les Bitumes Purs de NAFTAL selon la norme NA 5265/NF EN 12591

Caractéristiques	Unité	Normes d'essai Algériennes	Normes d'essai Européennes	Spécifications	Spécifications	Spécifications
Pénétrabilité à l'aiguille à 25° c	1/10 mm	NA 5192	EN 1426	40 - 50	60 - 70	80 - 100
Point de ramollissement	°C	NA 2617	EN 1427	47 - 61	46 - 54	43 - 51
Résistance au durcissement à 163 °C - Variation de masse, maximum ± - Pénétrabilité restante, minimum - Point de ramollissement après durcissement, minimum	% % °C	NA 5313 NA 5192 NA 2617	EN 12607 - 1 EN 1426 EN 1427	0,5 50 49	0,5 50 48	0,8 46 45
Augmentation du point de ramollissement, maximum	°C	NA 2617	EN 1427	9	9	9
Augmentation de l'indice de pénétrabilité : minimum maximum	°C	Annexe A de la norme NA 5313	Annexe B de la norme EN 1427	-1,5 +0,7	-1,5 +0,7	-1,5 +0,7
Point d'éclair (appareil Cleveland), minimum	°C	NA 5325	EN 22592	240	230	230
Solubilité dans le tétrachloroéthylène (c2d4)	%	NA 5271	EN 12592	99	99	99
Teneur en paraffine, maximum	%	NA 5225	EN 12626 - 2	4,5	4,5	4,5
Ductilité à 25°C	Cm	NA 5223	EN 13589	≥60	≥80	≥80
Densité relative à 25°C (au pycnomètre)	/	NA 5224	EN 15326	1,000 à 1,100	1,000 à 1,100	1,000 à 1,100

LES BITUMES FLUIDIFIÉS DE NAFTAL

0/1, 150/250 et 400/600

A vantages :

La fluidification des bitumes de NAFTAL améliore les transferts des liants, leur répandage, et le pouvoir mouillant du film. Lors de la mise en œuvre le liant ayant une viscosité faible permet un meilleur recouvrement de la surface des granulats.

Les solvants ayant servi pour la fluidification, s'évaporent laissant sur place le bitume pur de base. Le temps que dure l'évaporation et le phénomène de densification du liant varie d'un cut back à un autre. Ce temps dépend également des conditions climatiques, de la viscosité et de la circulation.



Nom Commercial : Bitumes Fluidifiés selon la norme NA 5264/ NF EN 15322

Caractéristiques	Unité	Normes d'essai Algériennes	Normes d'essai Européennes	Spécifications 0/1	Spécifications 150 / 250	Spécifications 400 / 600
Pseudo viscosité, mesurée au viscosimètre d'orifice 4 mm	S	NA 5222	EN 13357	<30	150 - 250	400 - 600
Densité relative (au pycnomètre) à 25 °C	/	NA 5224	EN 15326	0,92 - 1,02	0,92 - 1,04	0,92 - 1,04
Distillation fractionnée (résultat exprimé en pourcentage du volume initial). Fraction distillant au dessus de : - 190 °C - 225 °C - 315 °C - 360 °C	%	NA 5220	EN 13358	<9 10 - 27 30 - 45 <47	-- <3 6 - 15 <20	-- <2 5 - 12 <15
Pénétrabilité (à 25 °C, 100 g, 5 s) du résidu de 360 °C de la distillation	1/10 mm	NA 5192	EN 1426	80 - 250	80 - 200	80 - 200
Point d'éclairage (appareil Cleveland)	°C	NA 5325	EN 22592	21 - 55	>55	>55
Température limite de pompabilité	°C	/	/	20	65	70
Température moyenne d'enrobage (EVT 80 cSt)	°C	/	/	40	120	130
Nature du solvant	/	/	/	Kérosène	Kérosène	Kérosène
Teneur du solvant	%	/	/	38 - 40	14 - 16	11 - 13

NB : Il convient de ne pas la stocker au-delà de 15jours.

VI.5. Etude de formulation du BB 0/14 et GB 0/20 :**III.5.1. Méthode de formulation utilisée :**

L'étude de formulation a été réalisée selon la recommandation du ministère de travaux publics en février 2004 concernant l'utilisation des bitumes fascicules 02.

1) L'identification des constituons granulaires :

Il s'agit de granulats et sable provenant de la carrière d'ENG Ain-Touta, où les essais ont donné des bonnes résultats selon les normes en vigueur pour la fabrication d'enrobé.

2) L'identification du bitume :

Le bitume est de classe commerciale 40/50, et les essais effectués ont confirmé la classe.

3) Etude des mélanges hydrocarbonés :

Plusieurs formules théoriques ont été établies pour la composition des mélanges pour la grave bitume **GB 0/20** et le béton bitumineux **BB 0/14**. Deux compositions ont été retenues tenant compte des fuseaux respectifs spécifiés pour la réalisation des essais mécaniques de laboratoire, et la teneur en liant a été déterminé par la formule : $\text{Liant} = K \cdot \alpha \cdot \sqrt{\Sigma}$

❖ Les classes granulaires utilisées pour la fabrication des « BB 0/14 » sont les suivant :

- 43 % de Sable 0/4.
- 19 % de Gravillon 4/8.
- 38 % de Gravillon 8/16.
- 5,15 % à 5,55 % de liant (bitume pur 40/50)

❖ Les classes granulaires utilisées pour la fabrication des « GB 0/20 » sont les suivant :

- 42 % de Sable 0/4.
- 18 % de Gravier 4/8.
- 22 % de Gravier 8/16.
- 18 % de Gravier 16/25.
- 3,85 à 4,18 % de liant (bitume pur 40/50)

4) Réalisation de l'essai de MARSHAL :

Selon les essais effectués au laboratoire qui a données les résultats suivants :

❖ Les classes granulaires utilisées pour la fabrication des « BB 0/14 » sont les suivant :

- 43 % de Sable 0/4.
- 19 % de Gravillon 4/8.
- 38 % de Gravillon 8/16.
- **5,09 % à 5,63 %** de liant (bitume pur 40/50)

❖ Les classes granulaires utilisées pour la fabrication des « GB 0/20 » sont les suivant :

- 42 % de Sable 0/4.
- 18 % de Gravier 4/8.
- 22 % de Gravier 8/16.
- 18 % de Gravier 16/25.
- **3,81 à 4,21%** de liant (bitume pur 40/50)

5) Vérification de la tenue à l'eau de l'enrobé fabriqué.**III.2. Comparaison des résultats obtenue sur site avec la formulation :**

- ❖ Après analyse et vérification de la formulation théorique par l'entreprise on peut dire qu'elle est acceptable.
- ❖ Les matériaux proposés par l'entreprise présentes des caractéristiques acceptable pour la production des enrobé bitumineux.
- ❖ Le mélange à blanc du **GB 0/20** et prélevé à partir du poste a enrobage présente une courbe granulométrique qui s'insère dans le fuseau de spécification.
- ❖ La teneur en bitume est normale **4,81 % ≥ 4,09%** teneur en bitume de formulation.
- ❖ La densité moyenne est **2,25** est acceptable par rapport la densité de référence **2,331**.
- ❖ La compacité moyenne est **90,10 %** la compacité est bonne par rapport la compacité d'exigence **CPS (88 à 96)** et la compacité de formulation **93.24** L'épaisseur est **7,50 cm**.

Conclusion générale

- ❖ Après plusieurs visites sur le chantier, « **de doublement de la route nationale RN 46 sur une distance de 25 km entre le PK 219 et le PK 244** », en présence d'un représentant du laboratoire **LMTPB** chargé du contrôle, nous avons assisté à quelques essais sur site et au laboratoire,
- ❖ Après l'examen des dossiers d'essais précédemment réalisés, nous pouvons conclure que les matériaux retenus pour le projet et les essais réalisés sont **conformes aux exigences des normes et de CPS**.

1. GNT carrier CHERGUI EL HADJEB « Couche de fondation » :

- La GNT du carrier CHERGUI EL HADJEB analysée, est un grave concassé de classe granulaire 0/31.5 mm, dont sa courbe granulométrique **s'insère dans le fuseau de spécification des GNT 0/20**, avec une teneur en fine appropriée.
- Les résultats d'analyses de propreté (**Equivalent de sable, valeur au bleu de méthylène**) montrent que cette **GNT est propre**.
- Les résultats des analyses à usure ($MDE = 15.90 \leq 20$) **sont conformes au CPS**, tandis que les résultats à la fragmentation dynamique ($LA = 28.64 > 25$), **sont non conformes au CPS** en vigueur.
- En conclusion, cette **GNT n'est pas utilisable** pour la réalisation de la couche de fondation de ce projet actuel.

2. TVO Oued LAGROUS « Couche de forme » :

- TVO oued LAGROUS est un grave **peu argileux** propre de classe granulaire 0/50 mm.
- Ce matériau **utilisable en couche de forme** dans toutes les situations météorologiques par couches mince, avec un arrosage dans la masse pour changer d'état hydrique et un compactage intense.
- Les résultats d'analyse de propreté équivalente du sable (**ES**) à valeur au bleu de méthylène (**VBS**) montrent que ce **TVO est propre**.
- Il est préconisé l'élimination, des gros éléments ($>60\text{mm}$) ainsi que les mottes d'argile lors de la maîtrise en œuvre.

3. Résultats d'essai à la plaque :

- Les résultats des essais de portance à la plaque obtenus sur la section contrôlée sont bons.

4. Résultats d'essai de compacité :

- Les résultats des essais de compacité obtenus sur la section contrôlée sont bons.

5. Extraction Grave Bitumineux :

- La courbe du mélange est insère dans le fuseau de spécification GB 0/20.
- la teneur en bitume = $4.81 > 4.09$ est très élevée.
- La teneur en fines est bonne

6. Essai de carottage Pour Mesure De La Masse Volumique Apparente D'une Eprouvette Par Pesée Hydrostatique :

- Les compacités obtenues sont bonnes, elles s'insèrent dans les fourchettes de tolérance.

Ce travail de Projet fin d'étude nous a permis :

- D'apprendre à réaliser des essais (contrôle de fuseau, essais d'identification, essais de compactage, Kuma-gawa ...etc).
- D'apprécier la qualité des matériaux utilisés dans le domaine routier.
- D'avoir une expérience sur terrain dans le domaine des réalisations des routiers et le fonctionnement du suivi et le laboratoire.
- L'apprentissage des essais d'une tache qui nécessité un stage pratique au laboratoire.
- D'appris un domaine pratique qui est le laboratoire.
- La réalisation de ces essais était une tâche difficile, sans les relations personnelles de l'encadreur et de nos relations, le laboratoire de la MITIDJA des travaux publics et bâtiments (LMTPB) n'ouvrira pas ces portes et son matériel pour la réalisation de ces essais.

BIBLIOGRAPHIE

- ❖ NORMES AFNOR.
- ❖ Catalogue de dimensionnement des chaussées, Neuves, CTTP.
- ❖ Cahier des prescriptions spéciales, (Ministère des travaux publics).
- ❖ Rapport de contrôle sur la RN46, LMTPB.
- ❖ Travaux de Chaussée et d'accotement.
- ❖ Le CPS du marché de Projet RN 46.
- ❖ Formulation de « BB 0/14 » et « GB 0/20 »

ANNEXES

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
SARL MECHRI

ETUDE DE FORMULATION

**- GRAVE BITUME 0/20
- BETON BITUMINEUX 0/14**

CHANTIER : DIVERS CHANTIERS

ENTREPRISE : SARL MECHRI

CARRIERE : ENG – AIN TOUTA – W. BATNA

**DOSSIER: 300/34/ROT.E/ 13 /2025
DATE : FEVRIER 2025**

DIRECTION REGIONALE DE SETIF

Zone Industrielle Sétif

Tél : (036) 62.52.36

Fax : (036) 62.52.49

Site Web : www.ltp-est.dz

Email : drs@ltp.dz



REPRESENTATION B.B.A

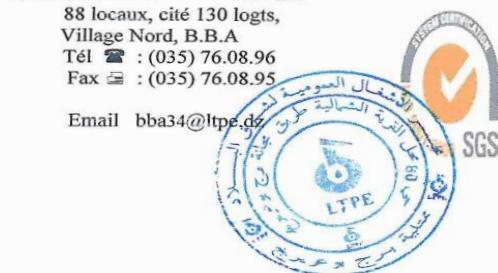
88 locaux, cité 130 logts,

Village Nord, B.B.A

Tél : (035) 76.08.96

Fax : (035) 76.08.95

Email bba34@ltp.dz



SOMMAIRE	Pages
1. INTRODUCTION	02
2. METHODE DE FORMULATION UTILISEE	02
2.1 Identification des constituants	02
3. RESULTATS OBTENUS	03
3.1 Les gravillons	03
3.2 Le sable	03-04
3.3 Identification du liant	04
4. ETUDE DES MELANGES HYDROCARBONES :	05
4.1 Mélange pour grave bitume GB 0/20	05
4.2 Mélange pour Béton bitumineux BB 0/14	05
4.3 Détermination des dosages en liant	06-07
5. CONCLUSION	08-09
<u>A N N E X E S</u>	
ANNEXES (1) : GRAVE BITUME GB 0/20	11-16
ANNEXES (2) : BETON BITUMINEUX BB 0/14	17-22

Abréviation :

- Vss : Valeur supérieure spécifiée,
- Vsi : Valeur inférieure spécifiée,
- L_i : Limite inférieure,
- L_s : Limite supérieure,
- D : Diamètre maximal des gravillons,
- d : Diamètre minimal des gravillons,
- LA : Los Angeles,
- MDE : Micro Deval,
- F_i : Coefficient d'aplatissement,
- f : Pourcentage en fines,
- SE (10) : Equivalent de sable à 10 %,
- MB_{0/2} : Valeur au bleu de méthylène sur fraction 0/2.



1. INTRODUCTION

Suite à la demande du client SARL MECHRI par bon de commande N°01/DR/2025 en date du 13/01/2025, le Laboratoire des Travaux Publics de l'Est- Représentation BBA- a procédé à une étude de formulation pour une grave bitume GB 0/20 et un béton bitumineux BB 0/14 avec des gravillons et sable provenant de la carrière ENG – AIN TOUTA – Wilaya Batna

2. METHODE DE FORMULATION UTILISEE

L'étude de formulation a été effectuée sur la base des Recommandations du Ministère des travaux publics de février 2004 concernant l'utilisation des bitumes et enrobés bitumineux à chaud, Fascicule 2, qui décrit la nouvelle méthode d'étude de formulation des enrobés bitumineux à chaud

Cette méthode consiste à suivre les étapes suivantes :

- 1- L'identification des constituants granulaires,
- 2- L'identification du bitume utilisé,
- 3- La réalisation de l'essai Marshall selon le mode opératoire des recommandations MTP de février 2004 concernant l'utilisation des bitumes et enrobés bitumineux à chaud.
- 4- La vérification de la tenue à l'eau de l'enrobé fabriqué, déterminé par le rapport des stabilités Marshall pour des éprouvettes conservées à l'air libre et en immersion.

Vous trouverez dans la suite du présent rapport les différentes étapes réalisées dans le cadre des études.

2.1 Identification des constituants

2.1.1 Les Granulats et sable

Les différentes fractions granulaires ont été acheminé au laboratoire par le client, il s'agit de granulats et sable concassé provenant de la carrière ENG – AIN TOUTA

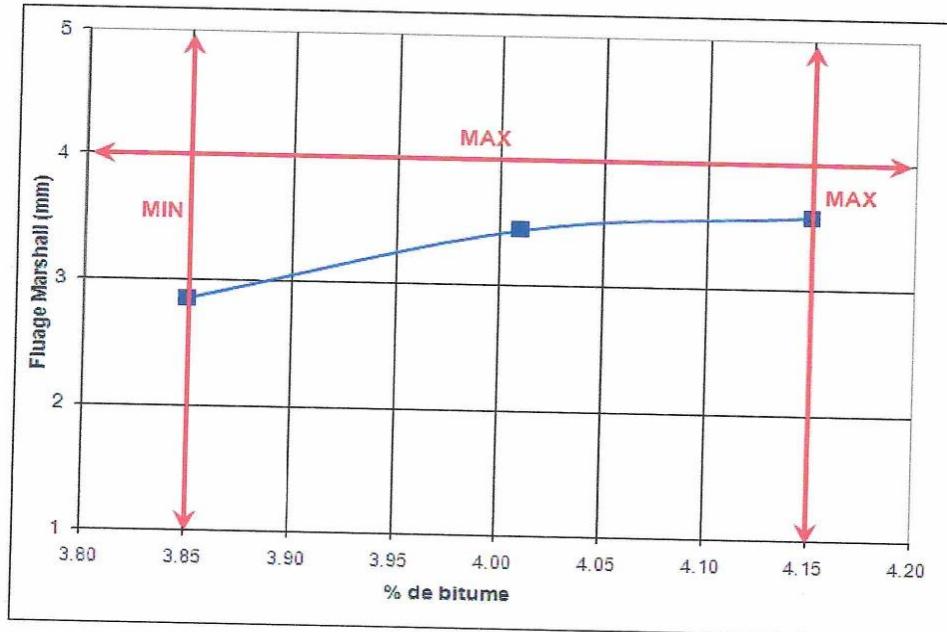
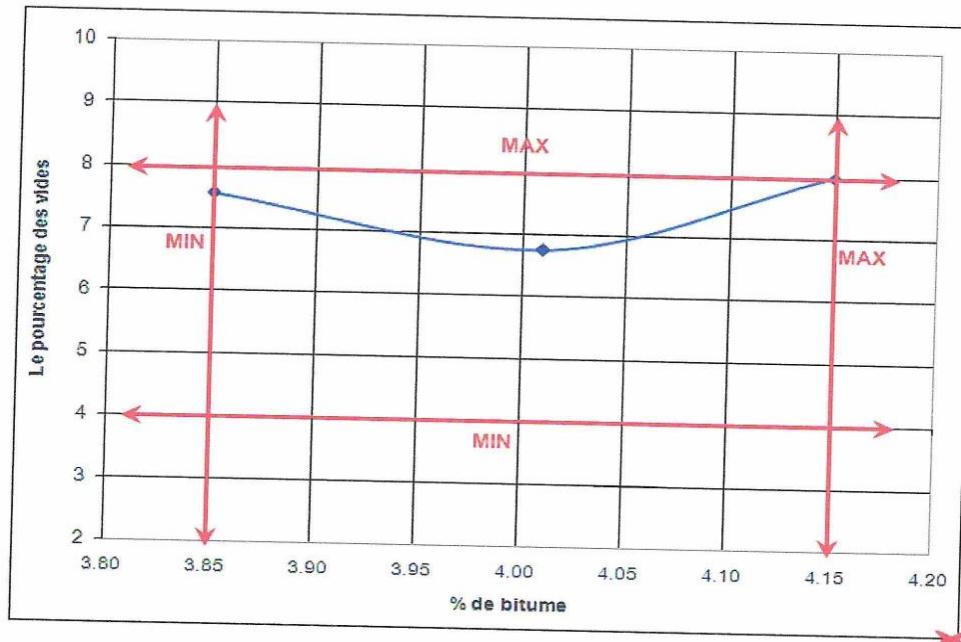
2.1.2 Le liant utilisé

Le liant utilisé a été acheminé au laboratoire par le client, il s'agit d'un bitume de classe commerciale 40/50.

2.1.3 Normes et modes opératoires utilisés

L'ensemble des essais a été réalisé conformément aux normes et modes opératoires en vigueur au L.T.P.Est cités en annexe.





3. RESULTATS OBTENUS

3.1 Les gravillons :

3.1.1 Caractéristiques intrinsèques :

Désignation	Carrière de provenance	LA %	MDE %	Densité absolue (t/m ³)	
Gravillon 4/8	ENG – AIN TOUTA	20.00	18.00	2.65	
Gravillon 8/16				2.67	
Gravillon 16/25				2.65	
Spécifications fascicule 2 catalogue MTP Trafic (PL.MJA) ≥ 150		≤ 25 %	≤ 20 %	-	
		LA +MDE ≤ 45%			
Spécifications Normes NF P 18-545 et NF EN 13043		Article 7 (Couche de fondation, base et liaison)		Article 8 (Couche de roulement)	
		Code		C	

3.1.2 Caractéristiques de fabrication :

Désignation	Provenance	Granularité							f (%)	FI (%)		
		Passants (%)										
		2D	1.4D	D	D/1.4	D/2	d	d/2				
Gravillon 4/8	ENG – AIN TOUTA	100	100	94	67	47	2	1	1.01	22.90		
Gravillon 8/16		100	100	94	67	47	2	1	0.84	13.00		
Gravillon 16/25		100	100	98	70	49	3	1.5	0.99	14.01		
Spécifications Normes NF P 18-545, NF EN 13043		Article		Article 7 (Couche de fondation, base et liaison)				Article 8 (Couche de roulement)				
		Code		III				III				

3.2 Le sable :

3.2.1 Caractéristiques de fabrication :

Désignation	Provenance	Granularité						MB 0/2	SE (10) %	Densité absolue (t/m ³)			
		Passants (%)											
		2D	1.4D	D	D/2	0.08	0.063						
Sable 0/4	ENG – AIN TOUTA	100	100	99	49	15	14	0.75	72.30	2.66			
Spécifications Normes NF P 18-545, NF EN 13043		Article			Article 7 (Couche de fondation, base et liaison)				Article 8 (Couche de roulement)				
		Code			a								



Commentaire :

- Ces dites granulats sont désignés par le code **C IIIa** pour l'article 7 et article 8 de la norme NF P 18-545 (granulats pour chaussée : couche de fondation, de base, liaison et couche de roulement utilisant des liants hydrocarbonés), qui sont des classes minimale.
- Les caractéristiques intrinsèques des granulats proposés sont conformes aux spécifications du fascicule 2 du catalogue MTP pour la fabrication des enrobés (GB et BB).
- Les caractéristiques de fabrication des granulats proposés sont conformes aux spécifications exigées.

3.3 Identification du liant :

Le liant utilisé est un bitume dont les caractéristiques obtenues sont conformes aux caractéristiques de la classe 40/50 ; les résultats d'identifications ainsi obtenus au laboratoire sont récapitulés dans le tableau ci- après :

Essais Réalisés	Résultats obtenus	Spécifications
Pénétrabilité au 1/10mm.	45	40 à 50
Température de ramollissement (TBA)	53	47 à 60
Densité relative à 25 °C	1.02	1.00 à 1.10



4. ETUDE DES MELANGES HYDROCARBONES

Plusieurs formules théoriques ont été établies pour la composition des mélanges pour la grave bitume GB 0/20 et le béton bitumineux BB 0/14. Deux compositions ont été retenues tenant compte des fuseaux respectifs spécifiés pour la réalisation des essais mécaniques de laboratoire.

4.1 Mélange pour grave bitume GB 0/20 :

Les dosages granulaires retenus pour GB 0/20 sont dans les proportions suivantes :

Sable 0/4	42%
Gravillon 4/8	18%
Gravillon 8/16	22%
Gravillon 16/25	18%

La courbe de mélange ainsi obtenue est donnée en annexe ; donnée comme suit :

D mm	25	20	16	14	10	8	6.3	4	2	1	0.5	0.315	0.250	0.125	0.08
Passant %	99.64	91.9	81.76	78.14	67	59.36	53.56	44.28	35.48	24.36	15.54	11.76	10.5	7.96	6.30

4. 2 Mélange pour Béton bitumineux BB 0/14 :

Les dosages granulaires pour BB 0/14 sont dans les proportions suivantes :

Sable 0/4	43%
Gravillon 4/8	19%
Gravillon 8/16	38%

La courbe de mélange ainsi obtenue est donnée en annexe.

D mm	16	14	10	8	6.3	4	2	1	0.5	0.315	0.250	0.125	0.08
Passant %	97.72	92.4	73.78	63.9	55.73	45.6	37.36	24.94	15.91	12.04	10.75	8.17	6.45



4.3.3 Interprétation des résultats :

Les essais mécaniques réalisés sur les mélanges hydrocarbonés ont fait ressortir ce qui suit:

➤ *Grave Bitume GB 0/20*

L'analyse des résultats obtenus a permis d'établir les différents graphes des caractéristiques obtenus sur l'enrobé en fonction de la variation des teneurs en liant (voir annexe) dans l'intervalle de teneur en liant de 3.85 % à 4.15 % :

- La stabilité Marshall (Sm) à l'air libre varie de 13.45 à 15.11 KN.
- Le fluage Marshal (Fm) varie de 2.85 mm à 3.58 mm.
- Le rapport immersion /compression (s/Sm) varie de 0.82 à 0.85
- Le pourcentage des vides varie de 3.57 % à 4.78 %.

D'après l'analyse des caractéristiques obtenues en fonction de la variation des teneurs en liant, il ressort que les valeurs optimales de teneur en liant sont dans un intervalle de variation préférentiel de **3.81 à 4.21%**, l'écart toléré sera de 5%.

Un tableau récapitulatif des résultats ainsi obtenus est donné en annexe N°1.

➤ *Béton Bitumineux 0/14*

L'analyse des résultats obtenus a permis d'établir les différents graphes des caractéristiques obtenus sur l'enrobé en fonction de la variation des teneurs en liant (voir annexe), dans l'intervalle de teneur en liant de 5.15 % à 5.55 % :

- La stabilité Marshall (Sm) à l'air libre varie de 13.88 à 16.19 Kn.
- Le fluage Marshall (Fm) varie de 2.16 mm à 3.16mm.
- Le rapport immersion /compression (s/Sm) varie de 0.88 à 0.90
- Le pourcentage des vides varie dc 4.71 % à 5.11%.

D'après l'analyse des caractéristiques obtenues en fonction de la variation des teneurs en liant, il ressort que les valeurs optimales de teneur en liant sont dans un intervalle de variation préférentiel de **5.09 à 5.63%**, l'écart toléré sera de 5%.

Un tableau récapitulatif des résultats ainsi obtenus est donné en annexe N°2.



5. CONCLUSION

L'étude de formulation pour le grave bitume GB 0/20 et le béton bitumineux BB 0/14 a été réalisée par des gravillons et sable provenant de la carrière ENG – AIN TOUTA W. BATNA

Ces granulats présentent des caractéristiques de fabrication et intrinsèques favorables pour la confection des mélanges hydrocarbonés;

Le bitume utilisé dans la présente formulation est le 40/50 conforme par rapport aux spécifications exigées.

L'entreprise doit veiller à ce que la variation des teneurs en liant se situe dans l'intervalle compris entre **3.81%** et **4.21%** pour la grave bitume GB 0/20 et de **5.09%** à **5.63%** pour béton bitumineux BB 0/14.

L'analyse des résultats de la variation des caractéristiques mécaniques de l'enrobé en fonction des teneurs en liant appliquées a permis de retenir les compositions optimales suivantes :

1) Pour La Grave bitume GB 0/20

- Sable 0/4	: 42%
- Gravillon 4/8	: 18%
- Gravillon 8/16	: 22 %
- Gravillon 16/25	: 18 %

Caractéristiques de l'enrobé :

	<i>Formule B</i>
Teneur en liant %	4.01
La Masse volumique apparente g/cm ³	2.331
La Masse volumique réelle g/cm ³	2.50
Stabilité Marshall (Sm) à l'air libre KN	15.11
Stabilité Marshall (s) immérsee KN	13.22
Fluage Marshall (Fm) mm	3.45
Rapport immersion/compression s/Sm	0.87
Le pourcentage des vides %	6.76

2) Pour Le Béton Bitumineux 0/14

- Sable 0/4	: 43%
- Gravillon 4/8	: 19%
- Gravillon 8/16	: 38 %

Caractéristiques de l'enrobé :

	<i>Formule B</i>
Teneur en liant %	5.36
La Masse volumique apparente g/cm ³	2.344
La Masse volumique réelle g/cm ³	2.46
Stabilité Marshall (Sm) à l'air libre KN	16.19
Stabilité Marshall (s) immérsee KN	14.57
Fluage Marshall (Fm) mm	3.12
Rapport immersion/compression s/Sm	0.90
Le pourcentage des vides %	4.71



Les résultats obtenus à partir des essais réalisés au laboratoire ne peuvent pas à eux seuls prévoir le comportement réel de l'enrobé sur chantier. A ce titre le LTP Est recommande :

- L'étalonnage de la centrale d'enrobage préalablement à la fabrication,
- La réalisation d'essais de convenance qui consistent à fabriquer une quantité industrielle d'enrobé en centrale, sur laquelle seront prélevés des échantillons et soumis aux mêmes essais qui ont permis d'établir la formulation de l'enrobé et ce afin de caractériser le comportement de ce dernier.

Par ailleurs, avant la mise en œuvre des enrobés, il est vivement recommandé la réalisation d'une planche d'essai, afin de s'assurer de la représentativité des gravillons par rapport au lot qui sera réellement utilisé et apporter éventuellement les corrections nécessaires.

D'autre part l'étude de formulation objet du présent rapport reste valable uniquement pour les gravillons et le sable utilisés dans ce cadre, tout changement d'origine des constituants granulaires devra faire l'objet de vérification des caractéristiques mécaniques fabriquées à partir de ces derniers.

Pour obtenir de meilleurs résultats de densité, la disponibilité du matériel du compactage conforme est nécessaire avec des conditions climatiques favorables (il nécessite de renforcer l'atelier de compactage au maximum).

Le L.T.P.Est reste à la disposition du client pour toute information supplémentaire dans le cadre de la présente étude.

L'INGENIEUR CHARGE D'ETUDE
M. BENLECHHEB



LE CHEF DE REPRESENTATION

بوخارى أسيما
رئيس شركه بوخارى
