RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la recherche Scientifique

Université YAHIA FARES DE MÉDÉA

Faculté de la Technologie

Département de Génie Civil

Mémoire de fin d'études en vue de
l'obtention du Diplôme de Master en Génie Civil

Option : *Géotechnique*

Thème

DIMENSIONNEMENT DU CORPS DE CHAUSSÉE DE L'AUTOROUTE CHIFFA BERROUAGHIA AVEC ÉTUDE COMPARATIVE ENTRE LES ENROBÉS CLASSIQUE ET LES ENROBÉS A MODULE ÉLEVÉ PAR L'AJOUT DES RÉSIDUS DU PVC

Encadré par :

- Dr BOUKSANI Omar

Présenté par :

- **Mr ALLALI NADJI**
- **Mr CHIKH TOUHAMI YAHIA**
- **Mr MEZAAD AISSA**

Promotion: Juin 2017

REMERICIEMENTS

Nous tenons à remercier notre promoteur Mr. BOUKSANI Omar pour l'élaboration de cette étude.

Nos remerciements également à l'ensemble du corps enseignants de l'université YAHIA FARES en générale et plus particulièrement à ceux du GÉNIE GÉOTECHNIQUE.

Nous remercions tous les fonctionnaires de la DTP Médéa et le groupe du laboratoire EPTRC Médéa.

Enfin, nous remercions toutes les personnes qui nous ont conseillées, qui se sont simplement intéressées à ce travail.

RESUME

Le trafic routier qui est devenue plus intense, ainsi que les températures durablement élevées sont à l'origine des déformations des couches supérieures de la chaussée,

La présente étude a pour objectif de :

- Dimensionnement de corps de chaussée du projet d'autoroute Chiffa Berrouaghia selon la description adoptée par le catalogue du dimensionnement des chaussées neuves établie par le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC) et le Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA).
- Étude comparatif entre les enrobé classique et les enrobé à module élevé avec des résidus de PVC, cette étude a pour d'évaluer les performances mécaniques d'un enrobé bitumineux obtenu à partir d'un squelette granulaire modifié par l'ajout de poudrettes de résidus de PVC broyé issue de recyclage de déchets en plastique.

Les essais réalisés ont montrés que l'adjonction de polymère (résidus de PVC broyé) avec les enrobé, possède une influence significative sur les performances mécaniques du béton bitumineux notamment sur l'augmentation de la résistance à l'orniérage et le module de rigidité.

Mots clés : Dimensionnement, Chaussée, Trafic, Enrobé, Béton Bitumineux, Enrobé à Module élève, Granulats, Bitume, Poudrettes de Poly Vinyl Chloride, Module de rigidité, résistance, orniérage.

ملخـــــص

إن حركة النقل التي صارت أكثر كثافة و تركيزا بالإضافة إلى الارتفاعات الكبيرة في درجة الحرارة تعد الأسباب الرئيسية للتشوهات التي تحصل في الطبقات العليا للطرق، هذه العوامل قادت إلى استغلال مواد جديدة لتغطية القصور المسجل على مستوى التركيبة الزفتية العادية.

وتهدف هذه الدراسة إلى:

- تحجيم جسم الطريق للطريق السريع الرابط بين شفة والبرواقية و ذلك تبعا لمدونة تحجيم أجسام الطرق الجديدة التي أنشأها المخبر المركزي للطرق والجسور (LCPC) ومصلحة الدراسات التقنية للطرق والطرق السريعة (SETRA).

- دراسة مقارنة بين الخرسانة الزفتية الكلاسيكية و الخرسانة الزفتية ذات المعامل المرونة العالي و الممزوجة مع بقايا البلاستيك المسحوق. هذه الدراسة تهدف إلى إيجاد الخصائص الميكانيكية للخرسانة الزفتية المحصل عليها من خلال إضافة مسحوق مستخلص من إعادة استغلال النفايات البلاستيكية .

. وقد أظهرت التجارب أن إضافة البوليمر(مسحوق بقايا البلاستيك) مع الخرسانة الزفتية ، لديها تأثير كبير على الأداء الميكانيكي للخرسانة الزفتية ،حيث أنه أدى إلى ارتفاع ملحوظ في الخصائص الميكانيكية ، بما في ذلك زيادة في مقاومة التخدد وفي معامل المرونة.

الكلمات الاستدلالية:

التحجيم ، هيكل، المرور، الخرسانة الزفتية، الخليط الإسفلتي، الخرسانة الزفتية ذات المعامل المرونة العالي ،الحصى،الزفت، سميد بولي كلوريد الفينيل، معامل المرونة، التخدد و المقاومة.

Summary

The soud's traffic have becom increasugly aggressive, as well as permanently high temperatures are copniterd to the pricipale causes of deformations of the upper layers of the roadway.

These factors have led to use new materials to recover the insufficiency recorded at the level of normal asphalt structure , the design the pavement structure of Chiffa-Berrouaghia highway according to the description adopted by the new pavement sizing catalog drawn up by the Central Laboratory of bridges pavement (LCPC) and the Technical Studies Department of Roads and Highways (SETRA) . To make a comparative study between conventional asphalt and high modulus with PVC residues, this study has to evaluate the mechanical performances of a bituminous mix obtained from a granular skeleton modified by the addition of crumbs Of crushed PVC residues from the recycling of plastic waste recycling.

The experiments carried out have shown that the addition of polymer (crushed PVC residues) has a significant influence on the mechanical performance of bituminous concrete, in particularly on increasing the resistance to rutting and the stiffness modulus.

Key words: Dimensioning, Pavement, Traffic, Asphalt, Bituminous Concrete, Pulver Module, Aggregates, Bitumen, Polyvinyl Chloride Crusts, Rigidity Module, Rutting and Resistance.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE 1

CHAPITRE I : PRESENTATION DU PROJET

I.1 Localisation de projet 3
I.2 Impact économique 4
I.3 Géologie de tracé 4
I.4 Climat de la région 5
A- Pluviométrique 5
B- Températures 5
I-5 Hydrologique 6
I-6 Sismicité 7
I-7 Donnée géométrique 8
A- Vitesse de référence 8
B- Trace en plan 8
C- Profil en long 9
D- Profile en travers 9

CHAPITRE III : GEOTECHNIQUE DU PROJET

II.1 Prospection géotechnique du projet 13
II.2 Essais in-situ 13
a- Puits de reconnaissance 13
b- Sondages carottés 15
c- Sondages électriques verticaux et sismique de réfraction 16
d- Sondages préssiomètriques 17
II.3 Essai au laboratoire 17

CHAPITRE III : LES ENROBES BITUMINEUX

III.1 Définition 18
III.2 Types d'enrobés existants 19
III.3 Les agrégats 21
III.4 Caractéristiques des agrégats **(**recommandations du CTTP) 24
III.5 Les bitumes « bitume brut dérivé du pétrole » 27
III.6 Les additifs 28
III.7 Essai pour enrobé et études de formulation 29
1- Teneur en liant dans un enrobé 29
2- Choix du niveau de l'épreuve de formulation 30
A- Essai de compactage à la presse à cisaillement giratoire (PCG) NF EN 12697-31 30
B- Essai Duriez NF EN 12697-12 31
C- Essai Marshall EN 12697-34 32
D- Essai d'orniérage NF EN 12697-22 33
E- Essai de Module 34
F- Essai de Fatigue NFP 98-261-1 35
III.8 Fabrication des enrobés 36

CHAPITRE IV : DIMENSIONNEMENT DU CORPS DE CHAUSSEE

IV.1 Introduction 38
IV.2 Évolution des techniques de construction 38
IV.3 Sollicitations supportées par les chaussées 39
IV.3.1 Sollicitations verticales sur la chaussée (cadre réglementaire) ..... ……39
IV.3.2 Charges effectives 40
IV.3.3 Sollicitations longitudinales 41
IV.3.4 Sollicitations transversales 42
IV.3.5 Les sollicitations d'origine thermique..... 42
IV.4 les différentes couches d'une chaussée 42
IV.4.1 Le sol support 43
IV.4.2 la couche de forme 43
IV.4.3 Les couches d'assise 44
a- La couche de fondation 44
b-Couche de base..... 44
IV.4.4 Couche de surface..... 44
a-La couche de roulement..... 44
b-La couche de liaison..... 45
IV.5 Les différentes familles de structures de chaussée..... 45
1.Les chaussées souples..... 45
2. Les chaussées bitumineuses épaisses 47
3. Les chaussées semi-rigides ou à assise traitée aux liants hydrauliques..... 48
4. Les chaussées à structure mixte..... 50
5. Les structures inverses 51
IV.6 Facteurs influant sur les dégradations 52
IV.6.1 Facteurs extérieurs..... 53
IV.6.2 Facteurs liés à la structure 54
IV.6.3 Facteurs liés aux matériaux 56
IV.7 Le trafic et les structures de chaussées 58
IV.8 Dimensionnement des chaussées neuves..... 59
IV.8.1 L'approche empirique 59
IV.8.2 L'approche rationnelle 59
IV.8.3 Comparaison (empirique/ rationnelle) 59
IV.8.4 Quelque méthode de dimensionnement..... 59
IV.9 Calcul de projet (autoroute Chiffa - Berrouaghia) 60
1-Base et référence d'étude 60
2-La plate-forme (couche PST) 60
3-Couche de forme 64
4-Couches d'assises plus couches de surface 66
A-Conception de structure de chaussée (cas enrobé a module élevée) 70
B-Conception de structure de la chaussée (cas enrobé classique) 78

CHAPITRE V : PARTIE EXPERIMENTALE.

V.1 Essais d'identification des agrégats 84
a- Analyse granulométriques NF P18 – 560 84
b- Coefficient d'aplatissement NF P18 – 561 88
c- Equivalent de sable a 10% des fines NF P18 – 597 89
d- Essai Los-Angeles NF P18 – 573 89
e- Masse volumique absolue des agrégats NF P18 – 555 90
f- Valeur de Bleu de Méthylène EN 933 – 9 90
g. Essai Micro-Deval NF P 18 – 572 92
V.2 Essais réalisés sur le bitume 91
a-Essai de densité relative A 25° C (NF T 66 – 007) 91
b-Essai de pénétrabilité (NF EN 1426) 91
c-Essai de point de ramollissement (NF EN 1427) 92
d-Essai de perte de masse au chauffage (NF EN 13303) 92
e-Essai de point d'éclair - point de flamme (NF EN ISO 2592) 92
V.3 Études de formulation enrobés classiques Niveau 3, Classe 3 , carrière TAMEZGUIDA 93
a-Formulation Grave bitume GB 0/20 93
b-Formulation béton bitumineux BBSG 0/14 98
V.4 Études de formulation enrobée à Module élevé Niveau 3 , Classe 2 ,carrière TAMEZGUIDA 102
a-Formulation Enrobé à Module élevé EME 0/20 102
b-Formulation BBME Niveau 3 Classe 3 carrière TAMEZGUIDA 107

CHAPITRE VI : ETUDE COMPARATIVE ENTRE LES ENROBÉÈS CLASSIQUE ET LES ENROBES A MODULE ELEVE.

VI.1 Comparaison financière 112
1. Calcul de prix de vente 112
a- le coefficient de règlement K 112
b- Prix Grave bitume 112
c- Prix béton bitumineux 113
d- Prix enrobés à module élevé (EME et BBME) 113
e- Corps de chaussé retenu pour les deux variantes 114
2. Différence de prix pour un (01) km 114
VI.2 Comparaison technique 115
1. Comparaison d'orniérage entre les enrobé à Module élevé et les enrobé classique 115
a- orniérage pour couche de fondation et de base 115
b- Orniérage pour Couche de roulement 115
2. Comparaison de Module entre les enrobé à Module élevé et les enrobé classique 116
a- Module pour Couche de roulement 116
b- Module pour couche de fondation et de base 116

CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS 117

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : Carte synoptique du projet..... 3
Figure I-2 : Pluviométrie 5
Figure I-3: Températures moyennes- Médéa 5
Figure I-4: Températures moyennes- Chiffa 6
Figure I.5 : Oued Chiffa (janvier 2017) 6
Figure I.6 : Carte sismique de l'Algérie 7
Figure I.7 : Profil en travers lot route 10
Figure I.8 : Coupe transversale Ouvrage d'art 11
Figure I.9 : Coupe transversale Tunnel au PK 10+613 (El-hamdania). 12
Figure III.1 : Résidus de PVC broyé..... 28
Figure III.2 : Niveaux de formulation..... 30
Figure III.3 : Presse à cisaillement giratoire (PCG) 30
Figure III.4 : appareille Essai Duriez. 31
Figure III.5 : appareille essai d'orniérage) 33
Figure III.6 : appareille essai de Module. 35
Figure III.7 : Appareille essai de fatigue. 35
Figure III.8 : Station d'enrobage. 37
Figure IV.1 Charges mesurées sur les autoroutes françaises Entre 1982 et 1990 ……..... ..... .41
Figure IV.2 : Cisaillements longitudinaux sous un pneumatique 41
Figure IV.3 : ..Coupe d'une structure de chaussé et terminologie des différente couches…….....42
Figure IV.4 : Fonctionnement d'une structure souple…….....……..…....46
Figure IV.5 : Fonctionnement d'une structure bitumineuse épaisse…….....47
Figure IV.6 : . Fonctionnement d'une structure semi-rigide…….....…...49
Figure IV.7 : . Fonctionnement d'une structure mixte…….....……51
Figure IV.8 : ..Fonctionnement d'une structure inverse…….....……..52
Figure IV.9 : .. Facteur du poids lourd dans les dégradations des chaussées…….....……..53
Figure IV.10 : Facteur de variation de température dans la dégradation des chaussées….....……..53
Figure IV.11 : Décollement de la couche de surface…….....55
Figure IV.12 : Élargissement d'une chaussée…….....……....55
Figure IV.13 : Valeurs CAM sur le logiciel alizé…….....…...…68
Figure IV.14 : Valeur de risque sur le logiciel…….....…...…69
Figure IV.15 : Valeur de module et coeff de poison du sol support…….....……...…70
Figure IV.16 : Carte climatique de l'Algérie……..…….....….....71
Figure IV.17 : Valeurs paramétriques des enrobés bitumineux dans le logiciel
Alizé (Module levée) …….....……..72
Figure IV.18 : Calcul de déformation à la traction admissible (Module élevée)…….....…...….73
Figure IV.19 : Introduction de la structure de chaussé des enrobé a module élevée…….....…...…..74
Figure IV.20 : Itérations arithmétiques de la couche d'assise…….....…...…74
Figure IV.21 : Calculs des contraintes et des déformations (Module élevée)…….....…...…75
Figure IV.22 : Valeurs paramétriques des enrobés bitumineux dans le logiciel Alizé…….....78
Figure IV.23 : Calcul de déformation à la traction admissible (enrobé classique)……..... 79
Figure IV.24 : Introduction de la structure de chaussé des enrobés classique…….....80
Figure IV.25 : Itérations arithmétiques de la couche d'assise (GB3)…….....81
Figure IV.26 : Calculs des contraintes et des déformations…….....82
Figure V.1 : courbe Analyse granulométrique sable 0/3 83
Figure V.2 : courbe Analyse granulométrique gravier 3/8..... 84
Figure V.3 : courbe Analyse granulométrique gravier 8/15..... 85
Figure V.4 : courbe Analyse granulométrique gravier 15/25..... 86
Figure V.5 : courbe de Mélange GB dans le fuseau 93
Figure V.6 : Courbe d'évaluation, pourcentage des vides par rapport au nombre de girations..... 94

Figure V.7 : Courbe profondeur d'ornière GB proportionnelle en fonction de nombre de cycles 95
Figure V.8 : courbe de Mélang BB0/14 dans le fuseau 97
Figure V.9 : Courbe d'évaluation, pourcentage des vides par rapport au nombre de girations 98
Figure V.10 : Courbe profondeur d'ornière BB proportionnelle en fonction de nombre de cycles..... 100
Figure V.11 : Courbe de Mélange EME 102
Figure V.12 : Courbe d'évaluation, pourcentage des vides par rapport au nombre de girations 103
Figure V.13 : Courbe profondeur d'ornière EME proportionnelle en fonction de nombre de cycles .. 104
Figure V.14 : Courbe de Mélange BBME 107
Figure V.15 : Courbe d'évaluation, pourcentage des vides par rapport au nombre de girations 108
Figure V.16 : Courbe profondeur d'ornière BBME proportionnelle en fonction de nombre de cycles 109
Figure VI.1 : Chaussée avec enrobé classique 114
Figure VI.2 : Chaussée avec enrobé à module élevé 114
Figure VI.3 : Différence d'orniérage entre GB et EME 115
Figure VI.4 : Différence d'orniérage entre BB et BBME ..... .115
Figure VI.5 : Différence de Module entre BB et BBME 116
Figure VI.6 : Différence de Module entre GB et EME 116

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1: coefficient d'accélération(RPOA2008) 8
Tableau I.5 : Les dimensions des éléments constituant le profil en travers (Route, OA et tunnel) 9
Tableau II.1 : Liste des puits exécutent 15
Tableau II.2 : Liste des sondages carottés. 16
Tableau II.3 : Liste des sondages électriques verticaux et sismique de réfraction. 16
Tableau II.4 : Liste des sondages préssiomètriques 17
Tableau III.1 : Dimension des agrégats.....22
Tableau III.2 : Exigences Les agrégats 23
Tableau III.3 : Caractéristiques des granulats. 23
Tableau III.4 : Exigences du sable 25
Tableau III.5 : Caractéristiques des fines 25
Tableau III.6 : Récapitulatif des résultats carrière 26
Tableau III.7 : Classification des bitumes 28
Tableau IV.1 : Classe de PST associé à la classe de l'arase de terrassement…….....63
Tableau IV.2 : Paramètres de contrôle du compactage de la couche de forme…….....64
Tableau IV.3 : épaisseur de plate – forme…….....65
Tableau IV.4 : Prévision Quantitative de charge PL …….....67
Tableau IV.5 : Nombre de PL…….....67
Tableau IV.6 : Valeurs CAM par couche de structure…….....68
Tableau IV.7 : Résultats des nombres équivalents d'essieux cumulés…….....69
Tableau IV.8 : Définition des classes de trafic…….....69
Tableau IV.9 : Risque de calcul…….....69
Tableau IV.10 : Zones climatique de pluviométrie…….....71
Tableau IV.11 : Choix de la température équivalente…….....71
Tableau IV.12 : Valeurs paramétriques retenues pour le calcul des enrobés a module élevée….....72
Tableau IV.13 : Valeurs limites admissibles (enrobé a module élevée)…….....73
Tableau IV.14 : Déformations de la couche d'assise et de la couche de forme…….....76
Tableau IV.15 : Dimensionnement de la structure de chaussée (enrobé a module élevé)…….....76
Tableau IV.16 : Valeurs paramétriques retenues pour le calcul (enrobé classique)…….....78
Tableau IV.17 : Valeurs limites admissibles (enrobé classique)…….....80
Tableau IV.18 : Déformations de la couche d'assise et de la couche de forme…….....82
Tableau IV.19 : Dimensionnement de la structure de chaussée (enrobé classique)…….....82
Tableau V.1 : Analyse granulométrique sable 0/3 84

Tableau V.2 : Analyse granulométrique gravier 3/8 85
Tableau V.3 : Analyse granulométrique gravier 8/15 86
Tableau V.4 : Analyse granulométrique gravier 15/25 87
Tableau V.5 : coefficient d'aplatissement gravier 3/8 88
Tableau V.6 : coefficient d'aplatissement gravier 8/15 88
Tableau V.7 : coefficient d'aplatissement gravier 15/25 89
Tableau V.8 : Equivalent de sable 0/3 89
Tableau V.9 : Los Angeles 3/8.8/15 89
Tableau V.10 : Masse volumique 0/3, 3/8, 8/15, 15/25 90
Tableau V.11 : valeur de bleu de méthylène sable 0/3 90
Tableau V.12 : Micro Deval 3/8, 8/15, 15/25 91
Tableau V.13 : Densité relative de bitume 91
Tableau V.14 : Pénétrabilité de bitume 91
Tableau V.15 : Point de ramollissement de bitume 92
Tableau V.16 : Perte de masse de bitume 92
Tableau V.17 : Point d'éclair de bitume 92
Tableau V.18: Mélange Grave bitume GB 93
Tableau V.19 : Composition du mélange GB 94
Tableau V.20 : PCG GB 94
Tableau V.21 : Sensibilité à l'eau, Duriez GB 95
Tableau V.22 : Orniérage GB 96
Tableau V.23 : Résultat de l'essai de Module de rigidité GB 97
Tableau V.24 : Mélange BB 0/14 98
Tableau V.25 : Composition du mélange BB 0/14 99
Tableau V.26 : PCG BB 0/14 99
Tableau V.27 : sensibilité à l'eau, Duriez BB 100
Tableau V.28 : Orniérage BB 100
Tableau V.29 : Résultat de l'essai de Module de rigidité BB 101
Tableau V.30 : Mélange EME 102
Tableau V.31 : Composition du mélange EME 103
Tableau V.32 : PCG EME 103
Tableau V.33 : Sensibilité à l'eau Duriez EME 104
Tableau V.34 : Orniérage EME 105
Tableau V.35 : Résultat de l'essai de Module de rigidité EME 106
Tableau V.36 : Mélange BBME 107
Tableau V.37 : Composition du mélange BBME 108
Tableau V.38 : PCG BBME 108
Tableau V.39 : sensibilité à l'eau Duriez BBME 109
Tableau V.40 : Orniérage BBME 110
Tableau V.41 : Résultat de l'essai de Module de rigidité BBME 111
Tableau VI.1 : coefficient de règlement 112
Tableau VI.2 : Prix Grave bitume GB 113
Tableau VI.3 : Prix béton bitumineux BB 113
Tableau VI.4 : Prix EME et BBME 114
Tableau VI.5 : Différence de prix pour un (01) km 114

LISTE DES NOTATIONS

AR	Arase De Terrassement
b	Pente de la droite de fatigue du matériau traité
BB	Béton bitumineux
BBMA	Béton bitumineux mince classe A
BBME	Béton bitumineux à module élevé
BCg	Béton de ciment goujonné
C	Facteur de cumul
C	Compacité (%)
CAM	Coefficient d'agressivité
CTTP	Contrôle technique des travaux publics (organisme national)
DE	Déflexion caractéristique en 1/100 mm
DTP	direction des travaux publics.
E	Module de Young (MPa)
EF	Enrobé à froid
EME	Enrobé à module élevé
ES	Enduit superficiel
EV2, EV1	Module à la plaque
F	Fluage (mm)
f	La proportion pondérale des granulats inférieurs à 0.08 mm (%)
G	La proportion pondérale des granulats supérieurs à 6.3 mm (%)
GB	Graves bitume
GL	Grave laitier
GNT	Grave Non Traité
GTR	Guide des Terrassements routiers
i	Taux d'accroissement géométrique du trafic
$\mathbf{I_p}$	Indice de Plasticité.
iPP	isotactique
K	Module de Richesse
kc	Coefficient de calage
kne	Facteur lié au nombre cumulé d'essieux équivalents de 13 tonnes supporté par la chaussée
kr	Facteur lié au risque
kθ	Facteur lié à la température
LA	los Angeles.
LCTP	Laboratoire central des travaux publics (organisme Français)
MDE	micro Deval.
MTLH	Matériaux Traité Au Liant Hydraulique
Mv	Masse volumique du granulat
n	**Durée de vie**
NFP	normes française.
PCG	Essai ou Presse à cisaillement Giratoire
PE	polyéthylène
PF	Plate-forme
PL	Poids lourd (véhicule de plus de 3,5 tonnes de PTAC)

LISTE DES NOTATIONS

PST	Partie Supérieur Des Terrassement
PTAC	Poids total autorisé en charge
PVC	Chlorure de polyvinyle
r	Risque en %
r	Résistance à la compression des éprouvettes Duriez dans l'eau (kg/cm²)
R	Résistance à la compression des éprouvettes Duriez dans l'air (kg/cm²)
S	Stabilité Marshall (kgf)
S	La proportion pondérale des granulats compris entre 6.3 et 0.315 mm (%)
s	La proportion pondérale des granulats compris entre 0.315 et 0.08 mm (%)
SB	Sable bitume
SETRA	Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes (organisme Français)
SG	Sable gypseux
TCEi	Trafic cumulé en essieux équivalents de 13 tonnes
TJMA	Trafic moyen journalier annuel
TL	Teneur en bitume (%)
TPLi	Classe de trafic en nombre de poids lourd par jour et par sens
TUF	Tuf calcaire
ν	Coefficient de Poisson
VRNS	Voies du réseau non structurant
VRS	Voies du réseau structurant
$\mathbf{W_L}$	la limite de liquidité.
$\mathbf{W_p}$	la limite de plasticité
γd	Densité sèche
ε_6	Déformation limite correspondant à 10^6 cycles
ε_t	Déformation de traction par flexion à la base des couches bitumineuses
$\varepsilon_{t,ad}$	Déformation admissible de traction par flexion à la base des couches bitumineuses
ε_z	Déformation verticale au niveau du PST
$\varepsilon_{z,ad}$	Déformation verticale admissible niveau du PST
Σ	Surface spécifique des granulats
σ_6	Contrainte de flexion limite à 10^6 cycles
α	Coefficient correcteur
α	la somme des charges indirecte en pourcentage

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction générale :

L'analyse de la situation des pays équipés et développés, montre que le secteur du transport constitue une base au plan du développement national et de la croissance économique, cela montre bien que le secteur du transport est un secteur stratégique sur les plans économique et social, et de l'intégrité du territoire. Il concourt à la satisfaction des besoins essentiels de la population et impulse et conforte le reste de l'économie national, dont il constitue une véritable locomotive, comme cela a été le cas dans l'histoire des pays actuellement développés, ou en voie de développement.

En Algérie le transport routier joue un rôle majeur dans la mesure où la route supporte plus de 80% du trafic de marchandises et voyageurs. Afin de fluidifier le trafic l'état a opté pour un programme portant sur la réalisation des tracés routiers neuf et des mises à niveau routes excitantes.

Le projet de l'autoroute entre Chiffa et Berrouaghia étant nécessaire, compte tenu de l'importance de la route existante qui doit supporter l'intense trafic actuel, des différentes activités économiques, commerciales et sociales de la région

Notre travail est de parvenir à faire une étude du dimensionnement de corps de chaussée neuve du projet de l'autoroute Chiffa Berrouaghia, et choisir les matériaux nécessaires ayant des caractéristiques requises avec une comparaison entre les enrobés classique et les enrobés à module élevé. Tout cela en fonction des paramètres fondamentaux, Le trafic, L'environnement de la route (le climat essentiellement) et Le sol support. Dans cette optique on a utilisé d'un logiciel numérique ALIZÉ- qui fait ces calculs à la base du catalogue du dimensionnement des chaussées neuves SETRA LCPC 1998.

Les enrobés bitumineux dans sa configuration traditionnelle ne permet plus une résistance satisfaisante à l'orniérage sous le trafic lourd et canalisé ainsi que les températures élevées qui sont l'origine des déformations des couches supérieures de la chaussée, donc leur amélioration devient nécessaire. Cette amélioration pourrait s'obtenir en modifiant l'enrobée par ajout des polymères.

Dans le domaine des ponts et chaussée, dans le souci la durabilité, économique et environnementale la conception des couches bitumineuses fait l'objet d'études approfondies notamment par l'utilisation des matériaux recycles. Ceci permettra de préserver les ressources et réduire les émissions polluantes.

Cette thèse s'inscrit dans un programme de valorisation des déchets usagés provenant des résidus de PVC broyé, il s'agit d'un plastomère par broyage mécanique de ces dernières. Cette poudrette (PVC broyé) est utilisée dans les mélanges bitumineux comme agent modifiant lors de l'opération de malaxage de l'enrobé lui offrant de meilleures performances en terme de qualité d'usage et de durabilité.

CHAPITRE I

PRÉSENTATION DU PROJET

CHAPITRE I

PRESENTATION DU PROJET

I.1 Localisation du projet :

Le projet étudié se situe entre la Chiffa au Wilaya de Blida et Berrouaghia Wilaya de Médéa. Le tracé présente une orientation de nord-sud, dont le point départ se situe à l'échangeur au niveau de PK56+700 de l'autouroute Est-ouest de la Chiffa à la Wilaya de Blida, il traverse la vallée Chiffa par des ouvrages d'art. Il accéder au bourg El Hamdania de la Wilaya de Médéa, à partir duquel le tracé est disposé le long de la RN 1 existante, il passe à proximité des localités Ouzera, Ben Chicao , le point final se trouve au Berrouaghia.

La longueur totale du tracé est **53 km.**

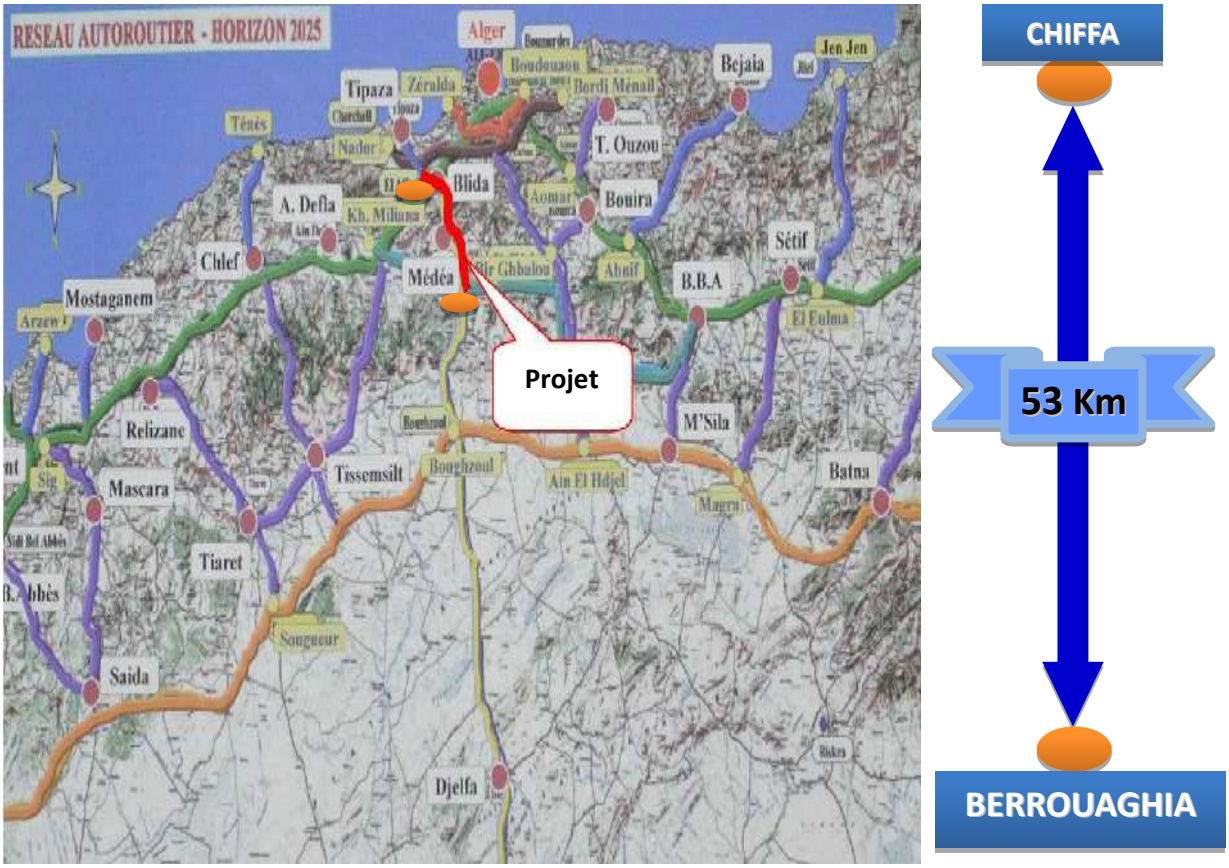


Figure. I.1 carte synoptique du projet.

le tracé poursuit son parcours vers le sud avec de nombreuses courbes pour traverser un massif vallonné jusqu'à la ville de Berrouaghia qu'il contourne aussi pour prendre fin là où il rejoint la route nationale RN1.(Voir carte synoptique du projet – figure I.1).

I.2 Impact économique :

Le projet d'autoroute est considérée comme un axe important, s'inscrit dans les différents Schémas directeurs routier et autoroutier de l'Algérie indépendante et notamment celui de 2005 – 2025 reliant le nord et le sud du pays et constitue également une pénétrante entre l'autoroute Est/Ouest et le futur projet autoroutière des hauts plateaux et à la fin se raccorder avec le projet d'autoroute 4eme rocade d'Alger, ce projet est devenu une nécessité immédiate permettant de :

- Réaliser une partie de la pénétrante nord sud
- Répondre à la demande du trafic croissant et aux besoins de déplacements des personnes et des transports de marchandises.
- Améliorer la sécurité routière : l'autoroute est une infrastructure plus sécurisée.
- Créer et valoriser les richesses locales
- Créer un nouvel espace socio-économique rentable et attractif pour l'investissement
- Fluidifier la circulation surtout en termes de poids lourd.
- Améliorer les conditions de confort, et du gain de temps et de coûts de transports.

Egalement, cette partie de l'étude permettra à travers l'identification des atouts et des handicaps de la wilaya, de prévoir les conséquences que l'aménagement de son réseau d'infrastructures aura sur le développement économique de la wilaya et des régions désenclavées.

I.3 Géologie de tracé :

La wilaya de Médéa est une région de montagne, limitée au nord par l'Atlas Blidéen et au sud par le début des hauts plateaux. L'ensemble topographique que traverse le tracé est constitué du plateau de Médéa situé entre les retombées sud de l'atlas Blidéen et les retombées ouest du massif de l'Ouarsenis, de montagne (col de Ben Chicao, altitude 1 248 m), les collines, on les retrouve à partir de la région de Berrouaghia, correspond au franchissement de la barrière que constitue l'Atlas telliens dont la direction est approximativement nord-est sud-ouest et qui culmine vers 1 600 m.

Après, pour franchir l'Atlas, le tracé emprunte la vallée de l'oued Chiffa qui entaille profondément le massif montagneux ; du reste, la rivière y a même creusé des gorges. La route peut ainsi rester entre les cotes 200 et 400. Elle est généralement implantée sur le flanc de la vallée ; mais le plus souvent assez près du fond.

En conclusion, l'autoroute Chiffa et Berrouaghia traverse plusieurs entités géologiques, on distingue essentiellement :

- Des dépôts du quaternaire qui sont représentées par des formations superficielles.
- Des dépôts néogènes des marnes et calcaires, trouvés à l'extrémité nord du tracé.
- Des schistes ardoisiers forment la plus part du tracé.

I.4 Climat de la région :

a- *Pluviométrique* :

La région de Médéa est régie par un climat méditerranéen caractérisé par l'alternance d'une saison sèche avec une saison froide, humide et pluvieuse.

Les pluies sont importantes en automne et en hiver, elles tombent d'octobre à Mai avec un maximum en Novembre et un autre en Février.

D'après les observations effectuées à la station météorologiques on a :

-Pluie moyenne journalière Pj = 55 mm.

La saison des pluies dure environ six (6) mois, tel qu'illustré au tableau suivant :

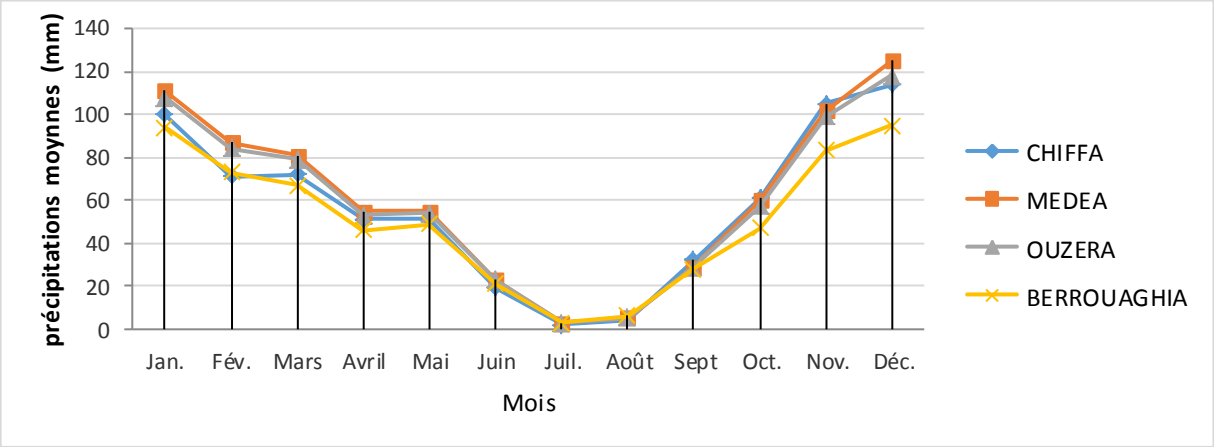


Figure I-2 : Pluviométrie

Températures :

Les températures moyennes pour la wilaya de Médéa et la ville de Chiffa, sont présentées aux tableaux suivants :

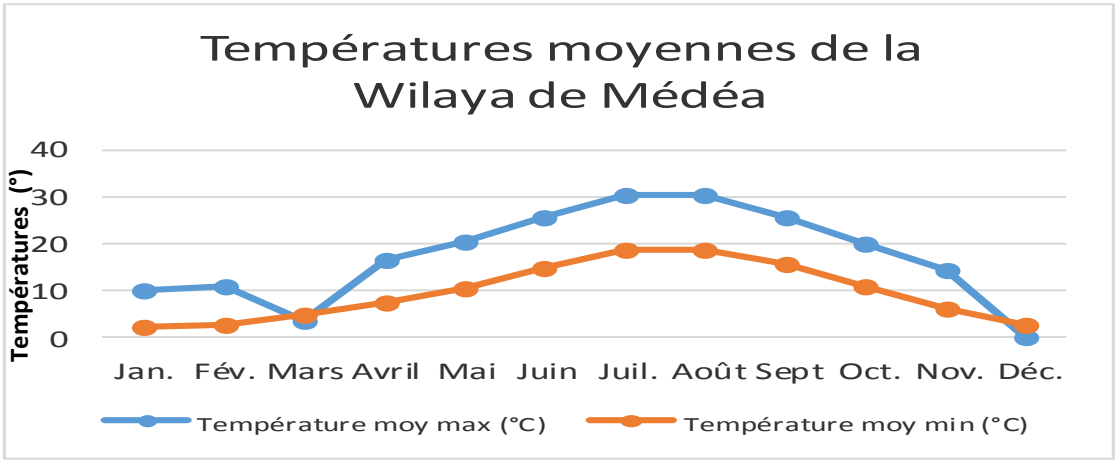


Figure I-3: Températures moyennes- Médéa

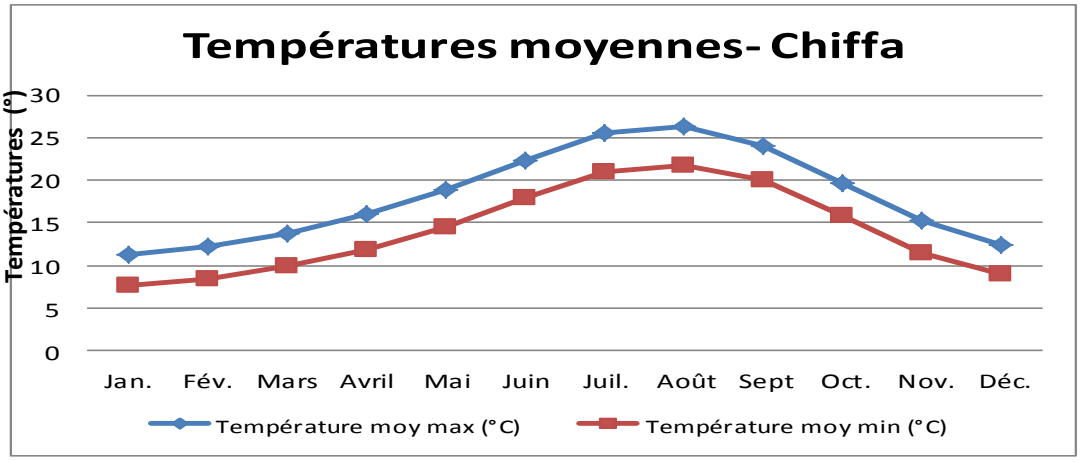


Figure I-4: Températures moyennes- Chiffa

I.5 Hydrologique :

D'une manière générale, le réseau de la wilaya est particulièrement dense à l'amont ; ceci est dû à l'humidité du climat, à la pente et à la présence de terrains de très faible perméabilité, ce qui favorise le ruissellement aux dépens de l'infiltration.

Le principal fleuve proches à la zone d'étude est l'oued Chiffa, Durant toute la descente des montagnes du Tell jusqu'à la Mer Méditerranéenne.



Figure I.5: Oued Chiffa (janvier 2017)

I-6 Sismicité :

Le Nord de l'Algérie est associé à une forte activité sismique, liée aux mouvements de collision aux frontières de deux plaques lithosphériques, africaine et eurasiatique. Le rapprochement nord-sud des deux masses continentales se fait d'une manière continue depuis près de 80 millions d'années. Au niveau du méridien d'Alger, la vitesse de rapprochement est de **1 cm/an**.

Du point de vue sismique, l'Algérie est divisée en 3 régions :

- L'Atlas Tellien : fortement sismique;
- L'Atlas Saharien : moyennement sismique;
- Le Sahara : peu sismique.

Classification des zones sismiques :

En fonction de 《 **R**ègles **P**arasismiques Applicables au Domaine des **O**uvrages **D**'Art》（RPOA2008），la zone du projet d'autoroute Chiffa et Berrouaghia est située en **II.a** et **II.b** qui se caractérise par une **moyenne sismicité.** (voir carte de zone sismique **figure II.9**), soit :

Zone 0 : Sismicité négligeable.

Zone I : Sismicité faible.

Zone IIa et IIb : Sismicité moyenne.

Zone III : Sismicité élevée.

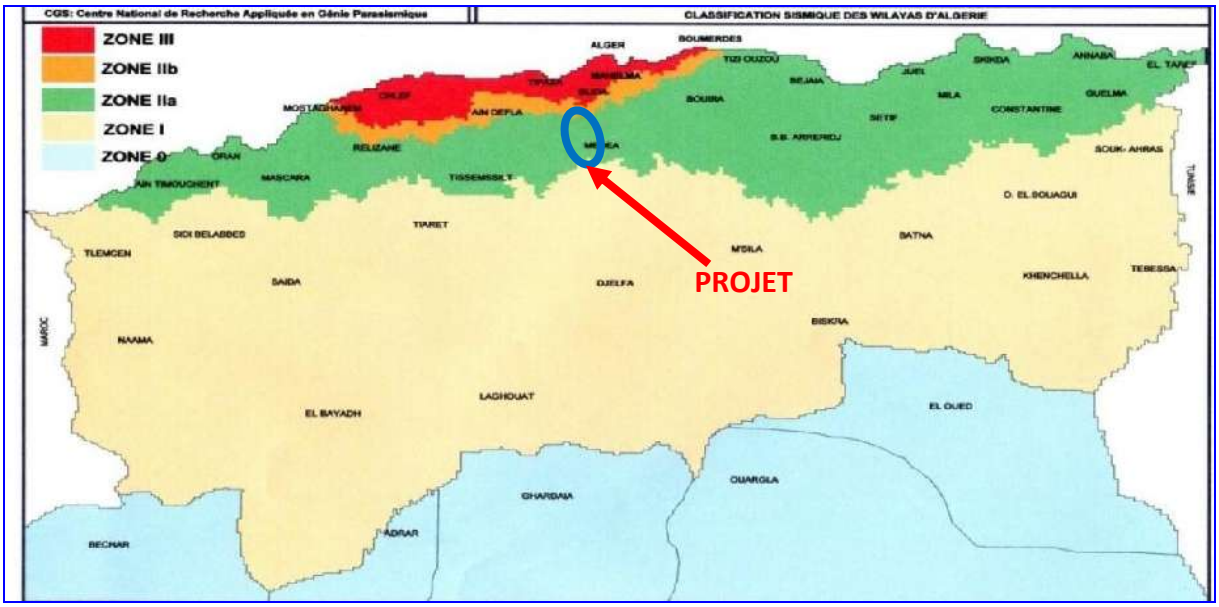


Figure I.6: Carte sismique de l'Algérie.

Chaque zone est caractérisée par un **coefficient d'accélération**, qui dépend que de la classification de l'ouvrage et de la zone sismique.

D'après la **R**ègles **P**arasismiques Applicables au Domaine des **O**uvrages d'Art (RPOA **2008)**, tout ouvrage qui relève du domaine d'application de ces règles, est classé comme suit :

Groupe 1A : ouvrages d'importance vitale.

Groupe 1B : ouvrages de grande importance.

Groupe 2 : ouvrages courants ou d'importance moyenne.

Groupe 3 : ouvrages de faible importance.

Dans cette classification, l'autoroute Chiffa et Berrouaghia correspond au **Groupe 1B**.

D'après le tableau **I.4** ci-dessous, montre qu'une accélération de **0.20 à 0.25 g** (**g** étant l'accélération de la pesanteur) doit être prise en compte dans le dimensionnement des ouvrages les plus importants du projet de l'autoroute.

Groupe	I	IIa	IIb	III
1A	0 .15	0.25	0.30	0.40
1B	0.12	0.20	0.25	0.30
2	0.10	0.15	0.20	0.25
3	0.07	0.10	0.14	0.18

Tableau I.1: coefficient d'accélération(RPOA2008).

I-7 Donnée géométrique :

A) Vitesse de référence :

L'autoroute de Chiffa et Berrouaghia sera conçu suivant la catégorie T90, avec deux (2) chaussées séparées. Tous les échanges et les croisements du réseau routier transversal se feront en carrefours dénivelés. La vitesse de référence considérée est de 90 km/h.

B) Le tracé en plan :

La circulation en sécurité, le confort et la continuité sont les facteurs à considérer pour la conception du tracé en plan, et l'application des alignements droits, des courbes circulaires et des raccordements progressifs doit être fait de façon à ce que le tracé répond aux exigences de confort et de sécurité lors de la circulation des véhicules.

Les valeurs des rayons en plan préconisée par l'ICTAAL 2000 et le guide pour l'aménagement des routes artérielles principales sont les seuils à respecter pour les valeurs minimales des rayons. Ces valeurs sont les suivantes :

R minimal = 240 m

R dévers minimal = 650 m

R non déversé = 900 m.

Toutes les courbes horizontales dont le rayon est inférieur à Rnd (900 m) devront être introduites par des raccordements progressifs (clothoïdes).

C) Profil en long :

Pour ce qui est de la déclivité qui influence considérablement sur la circulation routière, elle est définie de manière à prévenir la réduction de la capacité du trafic due à la diminution de la vitesse et la dégradation de sécurité. Les valeurs limites ci-dessous sont déterminées en fonction de la catégorie de la route et des conditions topographiques.

D) Profil en travers :

Le profil en travers du présent projet a une largeur variable au chaque chaussée comporte une bande d'arrêt d'urgence, une berme et une zone de sécurité. Les dimensions des éléments constituant le profil en travers proposé pour l'autoroute Chiffa Berrouaghia comme ci-dessous **(tableau I.5).**

	Lot route	**Lot OA**	**Lot tunnel**
Linéaire totale	**32 km**	**16,4 km**	**4,8 km**
Largeur totale	**33 m**	**D'un côté = 15,75 m**	**D'une tube =13 m**
largeur roulable	**6 X 3,5m = 21 m**	**3 X 3,5m=10,5 m**	**3 X 3,5m=10,5 m**
(terre-plein centrale) TPC	**2X1,0m** bande dérasé gauche (BDG)+**2m** (bande médiane) **=4m**	**1 m**(BDG)+**0,5 m** (bande médiane) = **1,5 m**	**2X0,5m** (BDG) **=1 m**
B.A.U (bande d'arrêt d'urgence)	**2X 3,0m = 6m**	**3 m**	**/**
Berme	**2X1,0 m = 2 m**	**/**	**/**
Glissière	**/**	**0,75 m**	**/**
Hauteur (gabarit)	**/**	**/**	**5,25 m**
Trottoir	**/**	**/**	**2X0,75m= 1,5m**

Tableau I.2 Les dimensions des éléments constituant le profil en travers (Route, OA et tunnel).

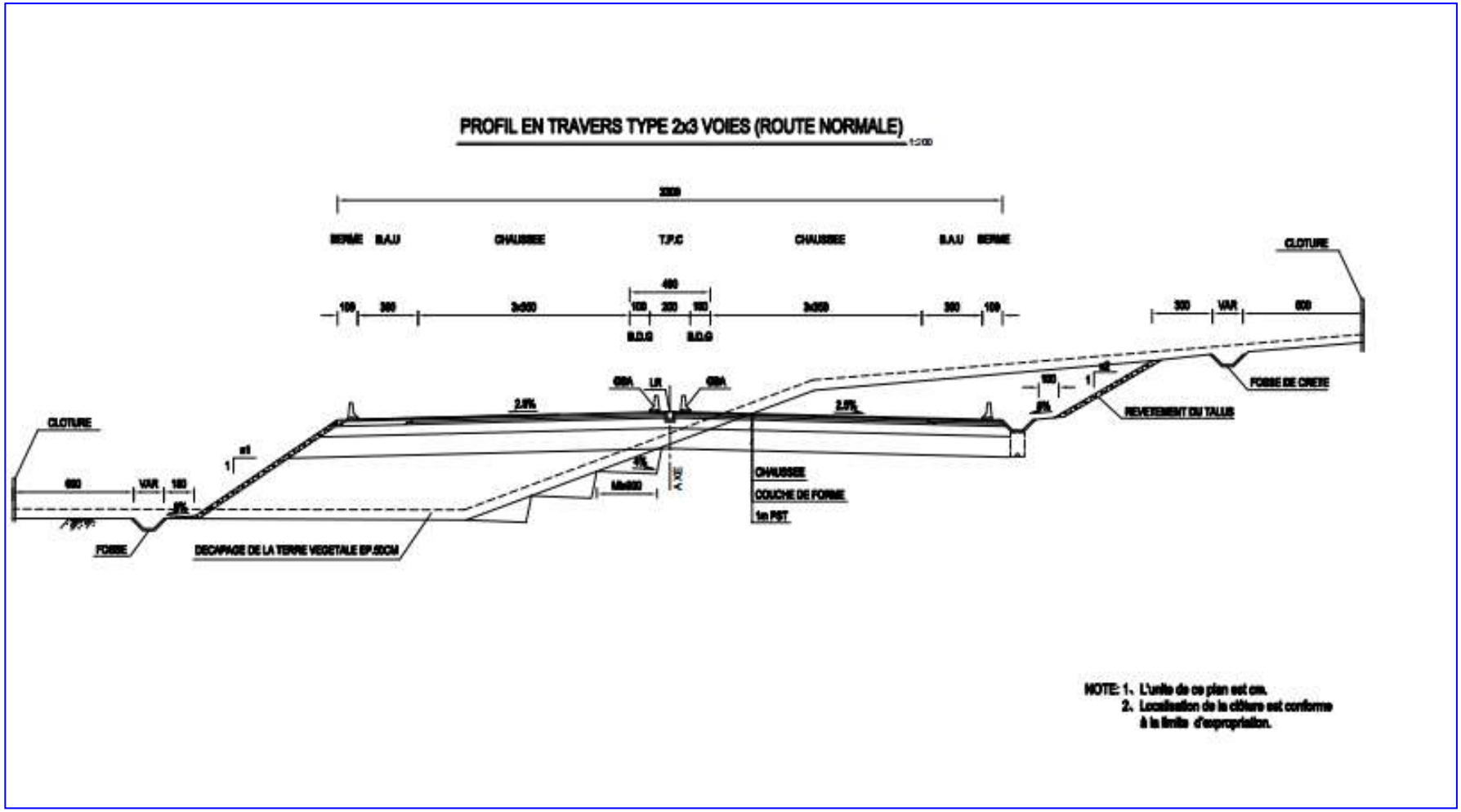


Figure I.7 : Profil en travers (route PK 31+000).

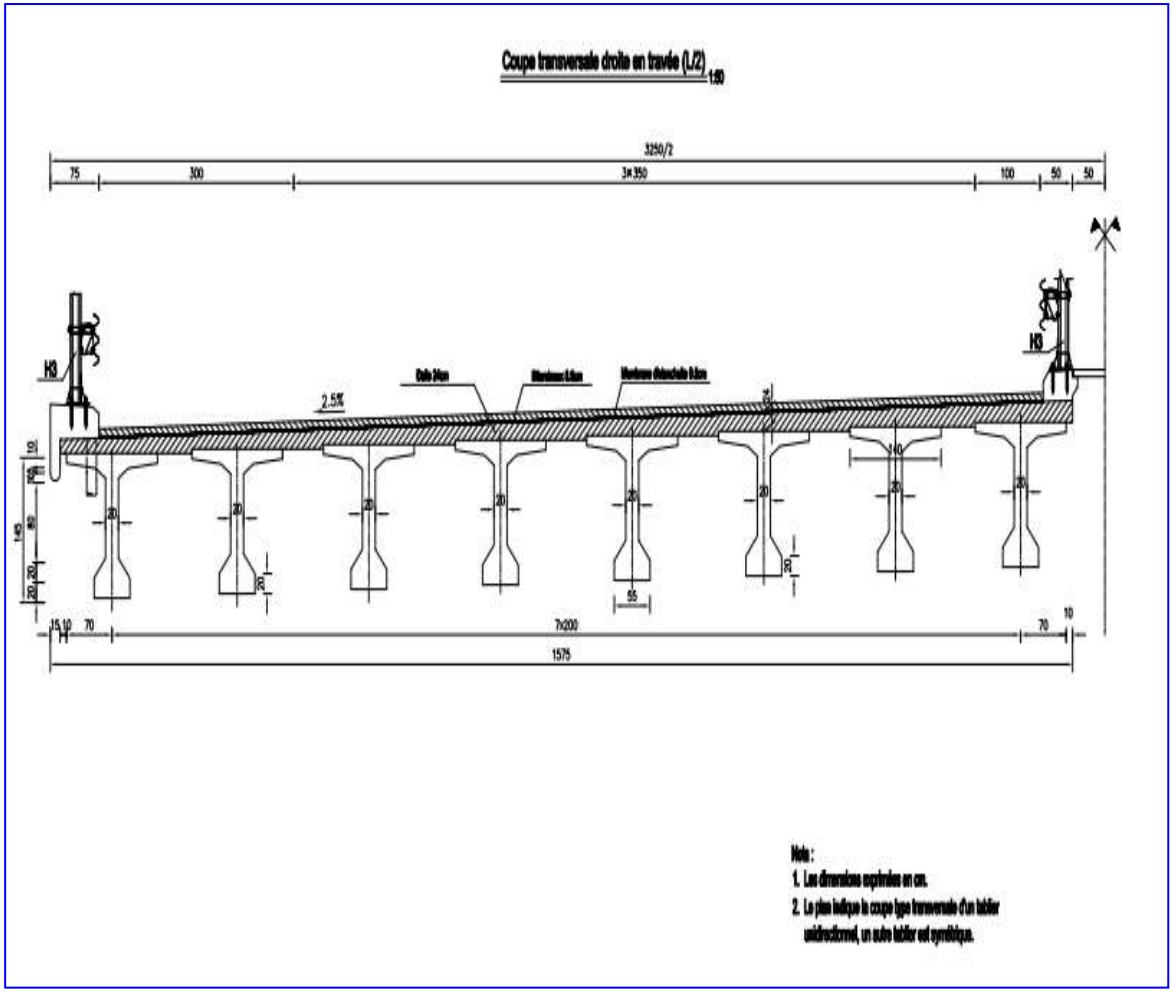
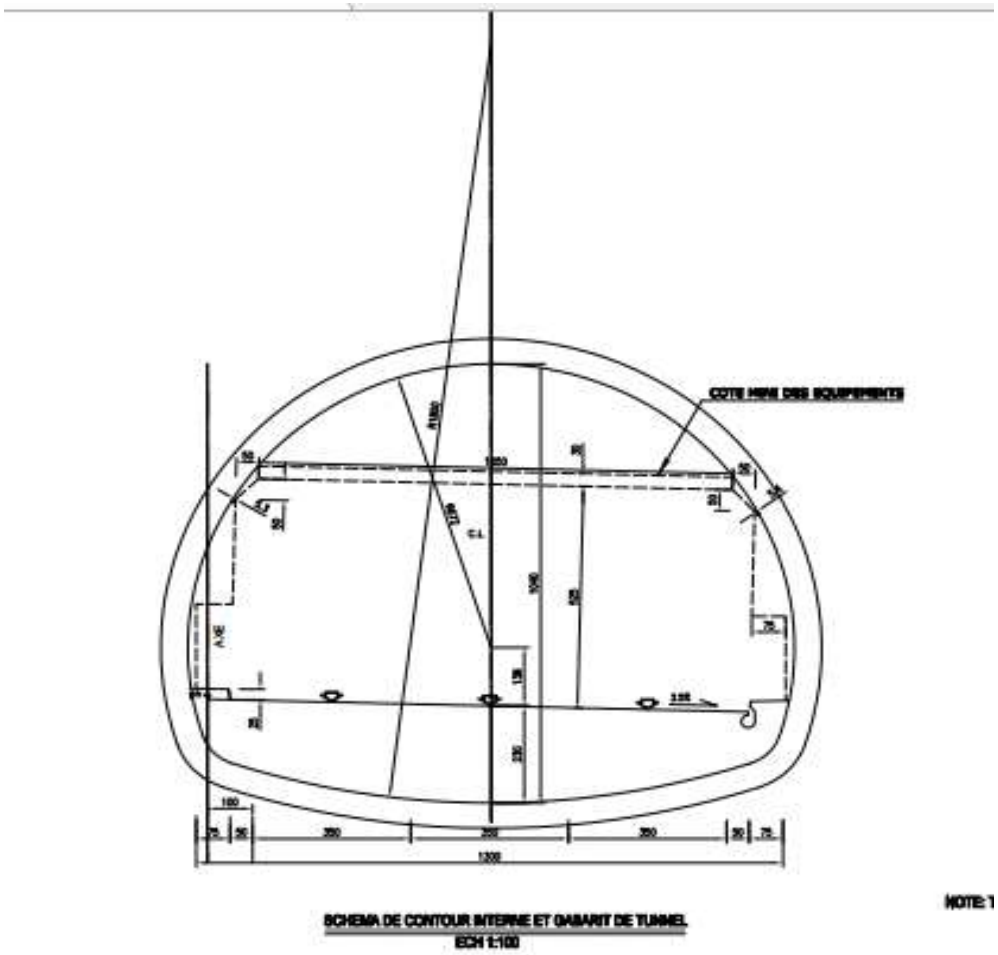




Figure I.8 : Coupe transversale d'un Ouvrage d'art



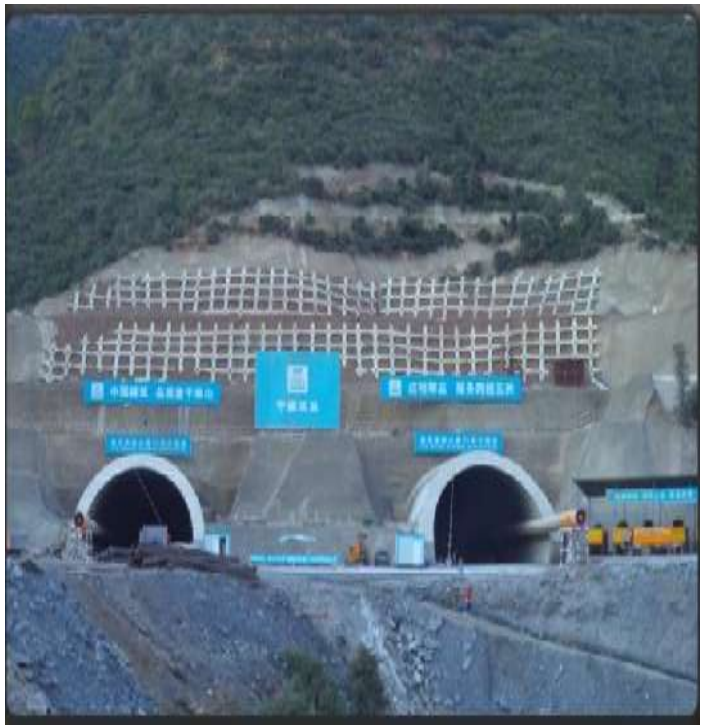


Figure I.9 Coupe transversale Tunnel au PK 10+613 (El-hamdania).

CHAPITRE II

GEOTECHNIQUE DU PROJET

II.1 Prospection géotechnique du projet :

L'objectif attendu par le programme de reconnaissance géotechnique est de déterminer les caractéristiques géotechniques du sol, en vue du dimensionnement du corps de chaussée et de l'étude de la stabilité des talus de déblais ou des remblais. Aussi permettra également de voir la possibilité de la réutilisation des matériaux des déblais en couches de remblais.

II.2 Essai in situ :

Le programme de reconnaissance géotechnique a été établi, d'une part, pour la reconnaissance des zones de terrassement (déblais remblais), et l'étude de stabilité et des tassements, et d'une autre, pour la détermination de la classe de portance de la plate forme et le dimensionnement du corps de chaussée.

Les essais in situ comme suite :

a- 39 Puits de reconnaissance
b- 9 Sondages Carottés
c- 1 Sondages préssiomètriques
d- 1 Sondage électrique verticale (Essai géophysique)
e- 1 Profil de sismique de réfraction (Essai géophysique)

Pour les zones qui présentent une difficulté d'accès, des essais géophysiques type sondage électrique ont été réalisés.

a- Puits de reconnaissance :

La reconnaissance par puits à ciel ouvert, nous a permis de distinguer ce qui suit:

- **La montée de Médéa:**

Cette section est représentée par des argiles sableuses, graveleuses par endroit, brunâtre à jaunâtre, qui renferment des nodules de calcaire et des cristaux de gypse. Parfois elles surmontent les marnes grises verdâtres ou bien des passages de calcaire (formation marno-calcaire). La terre végétale est constituée par des argiles sableuse à sablo graveleuse brun rougeâtre.

Du PK 90+400 au PK 93+000: cette partie est caractérisée par une couche de sable fin, finement argileux par endroits et légèrement carbonaté, qui repose sur des argiles parfois sableuses brunâtres humides, dans lesquelles on trouve des traces d'oxydation et des amas de marne grise. Ces formations renferment des inclusions d'évaporites, des traces d'oxydation, des graviers et parfois des blocs.

- **Col de Benchicaou:**

-Au niveau du PK 1+270: de 0,00 à 3,00m de profondeur, nous avons généralement des limons argilo sableux plus ou moins compacte, brunâtre à rougeâtre avec présence de fragments de grés, des nodules de calcaires à la base et de la matière organique qui diminue de haut en bas.

-Au niveau du PK 1+800 : ce sont des grès tendres altérés, surmonté par une terre végétale de nature limon argilo sableux. On remarque en affleurement une intercalation de grés dure à moins dure avec un ton rosâtre et quelques niveaux de conglomérat.

-Du PK 93+350 au PK 102+050: cette partie du tracé, est constituée d'une formation sableuse, dont les sables sont généralement fins, peux graveleux à graveleux avec quelques blocs. Ils changent de couleur de jaune- marron vers brunâtre, ils sont plus ou moins humides et renferment des traces d'oxydation et parfois de la matière organique et des concrétions blanchâtres de calcaire. Cette formation est généralement recouverte par des remblais de chaussée parfois par une terre végétale.

- **Descente de Berrouaguia:**

Cette section est représentée par une intercalation des argiles sablo graveleuse avec des bancs centimétriques de grés carbonatés, parfois oxydés et fracturés en blocs. Le tout est souvent recouvert par un remblai de même nature issue de la désintégration de la formation sous-jacente. Au niveau du PK 0+300 on passe à une intercalation de grés avec des marnes très altérées gris blanchâtres et qui renferme des nodules de calcaire. Cette intercalation repose sur les marnes grises verdâtres d'aspect schisteux.

- **Evitement de Berrouaghia:**

-Du PK 0+890 à PK 1+550: cette partie est représentée par des argiles sablo graveleuse brun-jaunâtre à ocre, souvent oxydée, avec présence de concrétions calcaires, des cristaux de calcite et de gypse et de rares galets et blocs. Ces argiles sont recouvertes par une terre végétale de nature argile limono sableuse, renfermant des blocs de grés rouges et des graviers plus ou moins oxydés.

-Du PK 2+190 à PK 7+500: c'est les marnes gris verdâtres qui prédominent dans cette partie, situées au-dessous de la terre végétale, elles sont parfois argileuses entre 1.00 et 1.50m de profondeur et devient de plus en plus cohérentes à la base, dans lesquelles on trouve des nodules et concrétions de calcaire, des joints remplis par la calcite. La terre végétale est souvent argilo marneuse avec des nodules de calcaire et quelques fragments de marne gris verdâtre.

Section	Puits N°	Position (Pk)	Profondeur du puit
Ben Chicao – Descente de Berrouaghia	P1	102+050	3,00 m
	P2	101+550	3,00 m
	P3	100+950	1,50 m
	P4	100+350	3,10 m
	P5	100+000	3,00 m
	P6	99+550	3,00 m
	P7	98+800	1,60 m
	P8	98+800	2,10 m
Ouzera Ben-Chicao	P9	95+500	3,00 m
	P10	94+850	2,00 m
	P11	94+050	3,20 m
	P12	93+350	3,30 m
	P13	93+000	3,20 m
	P14	92+700	3,20 m
	P15	92+200	2,00 m
	P16	91+400	3,30 m
	P17	90+900	3,50 m
	P18	90+400	1,70 m
Montée de Médéa	P19	0+920	0,80 m
	P20	2+700	3,10 m
	P21	5+100	2,20 m
	P22	6+750	1,60 m
	P23	0+350	3,00 m
Col de Benchicao	P24	1+270	3,00 m
	P25	1+800	0,50 m
Descente de Berrouaghia	P26	0+300	2,20 m
	P27	0+850	3,00 m
	P28	2+200	2,20 m
Evitement de Berrouaghia	P29	0+890	3,00 m
	P30	1+550	3,00 m
	P31	2+190	1,50 m
	P32	2+640	2,20 m
	P33	3+350	1,80 m
	P34	4+700	0,80 m
	P35	5+200	2,10 m
	P36	5+700	2,50 m
	P37	6+400	2,50 m
	P38	6+930	2,50 m
	P39	7+500	3,00 m

Tableau II.1 Liste des puits exécutent.

Note : Les Pk's des puits 1 à 18 sont donnés par rapport aux bornes de la RN1 et Les Pk's des puits 19 à 39 sont données par rapport aux Pk's du nouveau tracé.

b- Sondages carottés :

L'investigation par sondages carottés a permis de mettre en évidence une couche de recouvrement issue des dépôts du Quaternaires représenté essentiellement par les formations argilo sableuses, qui repose sur les apports détritiques fins d'âge Miocène

représentés par des sables peu argileux parfois grésifié et intercalés avec des argiles sableuses. Le tout repose sur un substratum marneux, altéré au sommet et sein et très dure en profondeur.

Le tableau ci-dessous montre la position des différents sondages exécutés :

Séction	Sondage Nº	PK Trace	Prof. sondage (m)
S1	SC-005	2+700	20,00
	SC-008	4+960	30,00
	SC-009	5+210	20,00
	SC-012	5+975	20,00
S3	SC-106	1+700	20,00
	SC-108	5+000	20,00
S6	SC-001	0+750	20,00
	SC-003	1+600	15,00
S7	SC-022	0+350	20,00

Tableau II.2 Liste des sondages carottés.

c- Sondages électriques verticaux et sismique de réfraction

L'interprétation des résultats de géophysique, au moyen de sondages électriques verticaux et sismique de réfraction, nous a permis de connaître en profondeur les différents types de terrain existants, ainsi que leur disposition naturelle.

Au travers des données jointes dans l'annexe , on peut observer une géométrie et une structure similaire à celle obtenue dans les sondages carottés. Ainsi les valeurs de résistivité, montrent une première couche avec des valeurs d'environs 50-80W/m, qui correspondrait aux dépôts colluviaux et le substrat altéré de nature argileuse.

En dessous de cette couche, se trouve différents niveaux marneux avec différente résistivité (valeur moyenne de 200 W/m), en fonction du contenu en carbone et de sa réfraction. Tel que cela a été enregistré dans les sondages carottés.

Ces valeurs correspondent avec celles existantes dans la littérature technique, tels que pour les matériaux traversés par le tracé.

Section	Essai géophysique Nº	PK Trace	Prof. sondage (m)
S1	SEV-012	4+450	30,00
S1	SIS-001	4+450	30,00

Tableau II.3 Liste des sondages électriques verticaux et sismique de réfraction.

d- Sondages préssiomètriques :

La réalisation des Sondages préssiomètriques, a permis de connaître la lithologie et la structure du terrain dans un nombre de points plus élevés pour des calculs de stabilité des déblais et remblais, ainsi qu'obtenir les mesures de leur résistance directement sur le terrain, sans avoir souffert les altérations du matériel engendrées au cours de l'extraction de l'échantillon et l'élaboration de l'essai.

Section	Sondage Préssiomètriques Nº	PK Trace	Prof. sondage (m)
S1	PR-003	6+000	2,50

Tableau II.4 Liste des sondages préssiomètriques .

II.3 Essais au Laboratoire :

Des 39 puits de reconnaissance réalisés, nous avons extraits au minimum un échantillon de terrain de chaque puit, afin de le tester au laboratoire et nous avons réalisé les essais suivants.

- 40 Essais d'identification sur des échantillons paraffinés (Granulométrie, Teneur en eau, Limites d'Atterberg et Densités).
- 16 Essais Proctos Modifie
- 16 Essais CBR

D'un total de plus de 174 échantillons extraits des sondages carottés ou d'échantillons de main, on a réalisé les essais de laboratoire suivants.

- 12 Essais d'identification sur des échantillons paraffinés (Granulométrie, Teneur en eau, Limites d'Atterberg et Densités).
- 2 Essais mécaniques de Cisaillement Direct (UU) sur échantillons intacts.
- 6 Essais de Résistance à la compression sur éprouvette intacte.
- 1 Essais chimique de l'eau.

Note :

- Tous les résultats des essais réalisés, se trouvent dans l'annexe.

CHAPITRE III

LES ENROBES BITUMINEUX

III.1. Définition :

Un **enrobé bitumineux** ou **béton bitumineux** C'est un mélange de graviers, de granulats concassés, de sable et d'un liant hydrocarboné appelé bitume (environ 5%) appliqué en une ou plusieurs couches pour constituer la chaussée des routes.

L'**enrobé** est utilisé pour la construction et l'entretien des infrastructures routières ; le bitume qu'il contient assure le lien entre les différents granulats. Il répond aux exigences des applications revêtements dans les domaines ; autoroutier, routier, de voirie urbaine, portuaire, aéroportuaire (pistes ... aires de stationnement ...). Ouvrages neufs, l'entretien, la rénovation.

L'enrobé, aussi appelé béton bitumineux, c'est ce qui constitue le plus souvent la (ou les) couche(s) supérieure(s) d'une chaussée, (la couche de roulement, de base, et parfois de fondation). La majeure partie des routes et des rues, dans le monde, sont revêtues d'enrobé.

Le béton bitumineux (aussi appelé enrobé bitumineux) est composé de différentes fractions de gravillons, de sable, de filler et utilise le bitume comme liant. Il constitue généralement la couche supérieure des chaussées (couche de roulement).

L'enrobé est utilisé pour les ouvrages neufs, mais aussi l'entretien et la rénovation des revêtements de voirie, notamment :

- Réparation de nids de poule, reprofilage, affaissements de chaussées, flaches, sur différentes surfaces exploitées (Route, Quais, Trottoirs, cours d'usines, parking, entrées et aires de garage, ainsi que toutes voies d'accès...)
- Obturations de trous de sondage lors de nivellement ou mise à niveau des tranchées.
- Réfection de surfaces de voirie, limitées ou étendues.

L'enrobé est peux réaliser à la base de plusieurs produit telle que : l'Asphalte le Bitume, le Goudron, et le liant hydrocarboné.

* **L'asphalte** : dans les pays anglophone, l'enrobé bitumineux routier est désigné sous le nom Asphalt. En Algérie et dans les pays francophone, l'asphalte est, comme l'enrobé, un mélange de bitume et de granulats, principalement utilisé pour les revêtements piétonniers. C'est un matériau d'aspect lisse (comme un miroir) et « fermé », c'est à dire qu'il n'y a aucun vide.

*** le bitume** d'origine naturelle, se trouve sous forme de gisement. Le bitume est le résidu naturel du pétrole et un composant de l'asphalte et de l'enrobé. Le bitume d'origine pétrolière, plus récent, est le plus utilisé.

*** le goudron** : d'origine houillère naturelle, il était utilisé en lieu et place du bitume, avant que l'on ne prenne conscience qu'il était cancérigène, par contact et surtout par inhalation des vapeurs de goudron.

*** Les liants hydrocarbonés et/ou émulsion de bitume** : Un liant hydrocarboné est d'une manière générale un matériau adhésif contenant du bitume. Cet élément agrégé avec des granulats fournit des « matériaux enrobés ».

III.2. Types d'enrobés existants :

Sur le marché, les enrobés peuvent être classé en fonction de leur fabrication, de leur adaptation aux trafics, aux besoins et contraintes du chantier :

A .L'Enrobé à chaud :

Il s'agit d'enrobés fabriqués aux alentours de 180°C, dans une centrale d'enrobage. L'objectif est de produire un enrobé durable qui sera transporté à chaud vers le chantier d'épandage, pour former la couche supérieure du revêtement des infrastructures routières. Il est mis en œuvre à une température d'environ 150 °C au moyen d'un finisseur. En dessous de 130°C, un enrobé à chaud devient difficile à travailler, et impossible de le compacté.

B .L'Enrobé à froid :

Un enrobé à froid est définie comme un mélange de granulat pour lequel est utilisé au moins une émulsion de bitume, modifiée ou non, dont la préparation finale s'effectue sans chauffage, ni séchage et qui peut être mis en œuvre à température ambiante, c'est à dire à froid. L'enrobé à froid est surtout utilisé pour l'entretien et la rénovation des revêtements de voirie, tel : voies en cours de travaux, ou encore pour reboucher des petites tranchées, trous, et nids de poules sur des chaussées déformées ... Cet enrobé est très utilisé au printemps en période de dégel, pour réparer les détériorations de la chaussée dues au gel. L'enrobé à froid peut être un enrobé durable ou provisoire Lire l'enrobé à froid.

C .L'Enrobé coloré :

Le bitume peut, de nos jours offrir une large gamme de couleurs (rouge, vert, ocre, bleu, gris, orange...), teinté soit en incorporant des pigments de couleurs dans le liant, soit en utilisant directement des granulats de couleur.

L'enrobé couleur à chaud, reste plus économique que le froid. Toutefois l'enrobé couleur, à froid, permet de réaliser de petites surfaces (à partir de 25 m² sur 6 cm d'épaisseur ou 75m² sur 2cm d'épaisseur). A l'opposé, une centrale d'enrobé à chaud, ne fabriquera de l'enrobé couleur que pour une surface supérieure à 200 ou 300 m², selon la centrale. L'enrobé couleur rouge, plus répandu, est une exception ; selon les régions, il peut être, fabriqué à chaud pour des quantités inférieures.

L'enrobé couleur, à froid, offre l'avantage supplémentaire de conserver une couleur stable d'une fabrication à l'autre, ce que ne permet pas l'enrobé couleur à chaud. A noter, qu'il soit chaud ou froid, noir ou coloré, l'enrobé fini toujours par prendre la teinte du granulat utilisé.
La plupart des fabricants de froid proposent de l'enrobé noir, ceux qui fabriquent de l'enrobé rouge sont déjà plus rares, quant aux autres couleurs, y a des Société innove en proposant des vert, ocre, bleu, gris,…..

D .L'Enrobé drainant :

Les Bétons bitumineux drainants BBDR ou Enrobé drainant NFP 98-134
Appellation étrangère : Asphalte poreux
Le béton asphaltique (BA) présente une structure à grain fin qui n'est pas perméable à l'eau. Par temps de pluie, des projections d'eau gênent la circulation. L'enrobé drainant, quant à lui, présente une structure à gros granulats. Il présente donc une structure ouverte qui permet un drainage plus rapide des eaux de pluie et qui supprime le problème des projections d'eau. Lire l'enrobé drainant

E .La Grave bitume :

C'est un enrobé à plus faible teneur en liant (bitume) destiné aux couches de fondation ou d'assise (sous-couches)
béton : mélange homogène de graviers ou gravillon dans un mortier de sable et de liant bitumineux ou hydraulique
béton poreux : granulométrie 0-12,5 gravillon roulé silico calcaire - Qualité du béton ferme - dosage 200kg ciment
Stabilisé ou béton maigre:
S'il s'agit d'une grave drainante

F .L'Enrobé à Module élevé :

L'Enrobé à Module élevé (EME) est un enrobé « structurant », utilisé en couche d'assise pour chaussée à fort trafic. De granulométrie 0/10, 0/14 ou 0/20, cet enrobé à module de rigidité élevé est mis en œuvre sur une épaisseur qui peut varier de 5 à 15 cm.

- **Description de L'Enrobé à Module élevé**

- Enrobé fermé, à squelette sableux ou à pierreux et à granulométrie continue ou discontinue.
- Couche épaisse utilisée en construction neuve ou en entretien comme couche supérieur de liaison.
- Teneur en liant moyenne.
- Types de liant utilisés : Bitume durs ou polymère **(Résidus de PVC broyé dans notre cas)**

- **Caractéristiques de L'Enrobé à Module élevé :**

  - Durabilité élevée.
  - Module de rigidité élevée.
  - Résistance à la fissuration par fatigue.
  - Résistant à l'orniérage.

- **Domaines d'utilisation :**

  - Convient particulièrement comme couche de liaison supérieure des voiries lourdement chargées ou le risque d'orniérage est élevé.

III.3. Les agrégats :

Le granulat est constitué d'un ensemble de grains minéraux qui selon sa dimension (comprise entre 0 et 125 mm) se situe dans l'une des 7 familles suivantes : fillers, sablons, sables, graves, gravillons, – ballast, enrochements.

Les granulats sont obtenus en exploitant des gisements de sables et de graviers d'origine alluvionnaire terrestre ou marine, en concassant des roches massives (calcaires ou éruptives) ou encore par le recyclage de produits tels que les matériaux de démolition. Leur nature, leur forme et leurs caractéristiques varient en fonction des gisements et des techniques de production. La nature minérale des granulats est un critère fondamental pour son emploi, chaque roche possédant des caractéristiques spécifiques en termes de résistance mécanique, de tenue au gel et des propriétés Physico-chimiques. Les granulats les plus usuels pour la fabrication des mortiers et des bétons sont élaborés à partir de roches d'origine alluvionnaire (granulats roulés ou semi-concassés) ou à partir de roches massives (granulats concassés). La taille d'un granulat répond à des critères granulométriques précis. Les granulats sont classés en fonction de leur granularité (distribution dimensionnelle des grains) déterminée par analyse granulométrique à l'aide de tamis.

Le granulat est désigné par le couple d/D avec :

- d: dimension inférieure du granulat
- D: dimension supérieure du granulat

Les granulats les plus utilisés		
Familles	***Dimensions***	***Caractéristiques***
Fillers	0/D	D < 2 mm avec au moins 85 % de passant à 1,25 mm et 70 % de passant à 0,063 mm
Sables	0/D	d = 0 et D ≤ 4 mm
Graves	0/D	D ≥ 6,3 mm
Gravillons	d/D	d ≥ 2 mm et D ≤ 63 mm
Ballasts	d/D	d = 31,5 mm et D = 50 ou 63 mm

Tableau III.1 : Dimension des agrégats.

Les intervalles d/D et O/D sont appelés classes granulaires ; Les granulats utilisés pour la fabrication des enrobés sont : **les fillers, les sables, les gravillons.**

Les granulats sont considérés comme courants lorsque leur masse volumique est supérieure à 2 t/m3 et léger si elle est inférieure à 2 t/m3. Les granulats doivent répondre à des exigences et des normes. Les granulats sont donc spécifiés par les caractéristiques suivantes.

a. Granularité (NF EN 933-1) :

Elle est déterminée par analyse granulométrique par tamisage, traduite par une courbe granulométrique (% de passants cumulés en ordonnée, et les dimensions de tamis en abscisse à échelle logarithmique).

b. Angularité (EN 933-5) :

Elle est applicable aux granulats d'origine alluvionnaire, elle représente les arrêtes vives obtenus après concassage.

Elle peut être appréciée indirectement par deux paramètres :

L'indice de concassage (IC) : c'est le pourcentage d'éléments supérieurs à la plus grande dimension du granulat élaboré contenu dans les matériaux d'origine soumis au concassage.

Rapport de concassage (RC) : c'est le rapport entre la plus petite dimension du matériau soumis au premier concassage et la plus grande dimension du granulat obtenu.

Plus IC et RC sont grands plus les granulats sont anguleux.

Ce sont des caractéristiques très importantes à prendre en considération en couche de roulement vis-à-vis de la texture.

c. Propreté (NF EN 933-9) :

Pour savoir la propreté des granulats on utilise l'essai de propreté superficielle, qui consiste à mesurer le pourcentage d'éléments fins subsistant après lavage.

Pour les sables on utilise l'essai d'équivalent de sable, soit l'essai de bleu de méthylène Pour les fillers on utilise l'essai de bleu de méthylène.

Pour les fillers en plus de la granularité et la propreté d'autres essais sont préconisés :

d. Indice de vide Rigden (IVR) (NF EN 1097-4)

Il permet d'avoir la porosité des fillers, c'est le rapport du volume des vides inters granulaires au volume du conteneur occupé par ces particules.

e. Pouvoir rigidifiant (ΔTBA) (ASTM D2872-85)

Il exprime la capacité du filler à rigidifier le bitume c'est la différence entre la température de ramollissement bille et anneau d'un mastic composé de 60% de filler et de 40% de bitume 50/70 et celle de ce même bitume.

f. Résistance à la fragmentation (N F EN 1097-2)

Déterminé par l'essai Los Angeles (LA), on utilise un broyeur à boulets d'acier provoque une fragmentation des gravillons par chocs avec production d'éléments de toutes dimensions, LA représente la proportion d'éléments fins (passant au tamis 1,6 mm) produits pendant l'essai, plus LA est faible meilleur sera la résistance à la fragmentation.

g. Résistance à l'usure (NF EN 1097-1) :

Déterminé par l'essai Micro Deval (MDE) en présence d'eau, on utilise un broyeur à billes d'acier, contenant de l'eau, provoque une usure des gravillons par frottements réciproques avec production d'éléments fins (passant au tamis 1,6 mm), MDE représente la proportion d'éléments fins produits pendant l'essai, plus MDE est faible meilleur sera la résistance à l'usure.

h. Forme des gravillons (NF EN 933-3) :

Elle est évaluée par l'essai d'aplatissement qui donne le coefficient A

Elle s'applique aux granulats de d = 4 mm et D = 80 mm.

Le coefficient d'aplatissement d'une fraction d/D est le pourcentage en masse de la somme des éléments passant à travers une grille à fente d'écartement D/2.

III.4. Caractéristiques des agrégats (recommandations du CTTP) :

Les agrégats doivent répondre aux exigences du tableau ci-dessus

Spécification par fraction		**0/3**	**3/8**	**8/15**	**15/25**
Fines (≤ 0.08 mm)		**14 à 18%**	/	/	/
Equivalent de sable à 10% des fines (ES)		**≥ 60%**	/	/	/
Valeur de bleu (VBS)		**‹ 1%**	/	/	/
Propreté superficielle (PS)		/	**≤ 2%**	**≤ 2%**	**≤ 2%**
Los-Angeles (LA)		/	**≤ 25%**	**≤ 25%**	**≤ 25%**
Micro-Deval (MDE)		/	**≤ 20%**	**≤ 20%**	**≤ 20%**
Coefficient d'Aplatissement (App)		/	**≤ 30%**	**≤ 25%**	**≤ 25%**
Analyse granulométrique	**Tamis 40**	/	/	/	**100**
	Tamis 25	/	/	**100**	**85 – 99**
	Tamis 15	/	/	**85 – 99**	**1 – 15**
	Tamis 12.5	/	**100**	/	**≤ 3**
	Tamis 10	/	/	/	/
	Tamis 8	/	/	**1 – 15**	/
	Tamis 5	**100**	/	**≤ 3**	/
	Tamis 3	**85 – 99**	/	/	/
	Tamis 2	/	**≤ 3**	/	/

Tableau III.2 : Exigences Les agrégats.

Caractéristiques	**Spécifications**		**Analyse granulométrique**			
	PL-MJA < 150	**PL-MJA ≥ 150**	**Tamis**	**3/8**	**8/15**	**15/25**
Coefficient Los Angeles	≤ 30	≤ 25	40	_	_	100
			25	_	100	85-99
Coefficient Micro Deval	≤ 25	≤ 20	15	_	85-99	1-15
			12,5	100	_	_
Coefficient d'aplatissement	≤ 30	≤ 25	10			≤ 3
			8	85-99	1-15	_
Propreté superficielle	≤ 3	≤ 2	5	_	≤ 3	_
Rapport de concassage	≥ 4	≥ 2				
Mottes d'argile et particules friables fraction 0/5 (%)	≤ 2	≤ 2	3	1-15	_	_
			2	≤ 3	_	_

Tableau III.3 : Caractéristiques des granulats.

- **Sable :**

Le sable sera un sable de concassage, soit de pierres naturelles. Le sable devra être de préférence de même nature minéralogique que les granulats entrant dans la composition des enrobés.

Caractéristiques	**Spécifications**		**Analyse granulométrique**	
	PL-MJA < 150	**PL-MJA ≥ 150**	**Tamis**	**Spécifications**
Équivalent de Sable à 10% de fines (%)	≥ 60	≥ 60	5	100
Friabilité de sable FS	≤ 40	≤ 35	3	85-99
Valeur au bleu de méthylène VB (g/Kg)	≤ 1	≤ 1	0,08	10-22

Tableau III.4 : Exigences du sable.

Si la valeur de l'équivalent de sable PS est > 75 (sable considéré propre), il n'est pas nécessaire d'effectuer l'essai au bleu de méthylène (VB).

- **Fillers d'apport :**

Quand la teneur en fines (élément inférieur à 80 microns du sable de concassage ou du sable broyé) nécessaire au béton bitumineux est insuffisante, compte tenu du pourcentage avec lequel ce sable intervient dans la formule, il faut prévoir l'addition d'un filler. Les spécifications liées aux caractéristiques des fines sont données dans le tableau ci-dessous :

Caractéristiques	**Spécifications**
Granularité	Tamisats à 0,2 =100% Tamisats à 0,08 > 80%
Indice des vides Rigden IVR (NA 5009-1995)	≤ 40
Valeur au bleu de méthylène MBF (quantité de bleu adsorbée, en grammes, pour 1 000 g de fines) (NA 1948-1991)	≤ 10

Tableau III.5 : caractéristiques des fines**.**

Date	Carrière	Désignation Des Essais	Fraction Testée	Résultats Obtenus	Recommandations
11 – 04 – 2017	Carrière TAMEZGUIDA	Analyse Granulométrique	15/25	R à 1.25D = %	0%
				R à D = %	≤ 15%
				T à d = %	≤ 15%
				T à 0.63d = %	< 3%
			8/15	R à 1.25D = %	0%
				R à D = %	≤ 15%
				T à d =%	≤ 15%
				T à 0.63d = %	< 3%
			3/8	R à 1.25D = %	0%
				R à D = %	≤ 15%
				T à d = %	≤ 15%
				T à 0.63d = %	< 3%
			0/3	T (5 mm) = %	100%
				T (3 mm) = %	≥ 85%
				Ø<0.08 mm =%	10% à 22%
		Propreté superficielle (PS)	15/25	%	≤ 02%
			8/15	%	
			3/8	%	
		Equivalent de Sable à 10 % des fines (ES)	0/3	%	≥ 60%
		Valeur au bleu (MBF) (g de bleu pour 1000 g du fraction 0.125 mm)	0/0.125		≤ 10%
		Essai au bleu (VB) (g de bleu pour 100 g du fraction 0.08 mm)	0/0.08		≤ 1
		Qualification des fines (MB) (g de bleu pour 1000 g du fraction 0.2 mm)	0/2		≤ 1
		Friabilité de sable (FS)	0.2/2 mm	%	≤ 40%
			0.2/4 mm	%	
		Coefficient D'Aplatissement (A)	15/25	%	≤ 25%
			8/15	%	≤ 25%
			3/8	%	≤ 30%
		Essai Micro-Deval (MDE)	10 – 14	%	≤ 20%
			6.3 – 10	%	
			4 – 6.3	%	
		Essai Los-Angeles (LA)	10 – 25	%	≤ 25%
			10 – 14	%	
			6.3 – 10	%	
			4 – 6.3	%	
		Masse volumique apparente (t/m^3)	15/25		/
			8/15		/
			3/8		/
			0/3		/
		Masse volumique absolue (t/m^3)	15/25		/
			8/15		/
			3/8		/
			0/3		/

Tableau IV.6 : Récapitulatif des résultats carrière

III.5. Les bitumes « bitume brut dérivé du pétrole » :

Les bruts à bitume sont des bruts lourds venant du Venezuela ou du Moyen Orient.

Ce sont des produits en raffinerie à partir de la distillation fractionnée de certains pétroles bruts.

a. Fabrication des bitumes :

En fonction de la situation géographique du gisement, certains pétroles permettent d'obtenir une grande quantité de bitume et sont qualifiés de bruts à bitumes. Les différents types de bitumes sont obtenus à l'issue du processus de raffinage qui est composé plusieurs étapes :

– La distillation atmosphérique : Dans un premier temps, après avoir effectué les opérations de décantation et de dessalage, le pétrole brut est porté à une température d'environ 300°C. La phase vapeur est éliminée et condensée pour séparer les différents produits hydrocarbures (kérosène, gaz, essences, fuel, fuel lourd, ...) en fonction de leur volatilité. La fraction lourde restant au fond de la colonne constitue le résidu de la distillation directe et sert à l'élaboration du bitume.

– La distillation sous vide : Ce résidu est ensuite injecté dans une tour de distillation sous vide où la séparation des différents constituants se poursuit en jouant sur les paramètres débit, pression et température. Le produit formé en fond de cuve est alors un résidu de distillation sous vide.

-Le soufflage : Une opération de soufflage peut être pratiquée sur le résidu de distillation sous vide pour des colonnes peu performantes ou selon d'autres procédés de fabrication des essences et des huiles minérales sur les résidus pour les amener à la dureté souhaitée. Le soufflage des bitumes consiste à injecter de l'air au sein d'une base bitumineuse elle-même portée à une température comprise entre 250°C et 300°C

- De très nombreuses réactions chimiques se déroulent provoquant une condensation des résines et de molécules d'asphaltènes. Le bitume obtenu est appelé bitume soufflé.

b. composition chimique et structure des bitumes :

Vue la diversité des pétroles (1300 pétroles bruts référencés dans le monde), la composition exacte du bitume peut présenter des variations importantes. On retrouve trois familles de composés du bitume: les asphaltènes et les maltènes.

Les asphaltènes sont composés d'hydrogène et de carbone ; ils se présentent sous la forme d'un solide friable et occupent 10 à 20% du poids du bitume. Les maltènes sont constitués essentiellement des huiles qui sont :

Saturées :

- Composition : molécules paraffinique ;
- Consistance : liquide à pâteux
- Couleur : incolore à jaunâtre

Aromatiques :

- Composition : 30% d'atomes de carbone,
- Teneur en soufre : 2 à 3%
- Couleur : rouge sombre

Résines :

- Composition : azote et 0,8 à 1% d'oxygène
- Teneur en soufre : 3 à 8%

L'ensemble forme un système colloïdal constitué par une suspension de micelles d'asphaltènes peptisés par les résines dans milieu huileux. En effet, les résines s'absorbent sur les asphaltènes et permettent leur dispersion dans le mélange huileux. Les aromatiques assurent le rôle de solvant, tandis que les saturés assurent le rôle de floculant.

c. Classification des bitumes :

Afin de classer les différents bitumes, les deux essais de caractérisation (pénétrabilité à 25°C et la température de ramollissement bille anneau) sont couramment utilisés.

Consistance	« Dur »				« Mou »
appellation	20/30	40/50	60/70	80/100	180/220
Pen25°C	20/30	35/50	50/70	70/100	180/220
TBA °C	55 à 63°C	50 à 56°C	45 à 51°C	42 à 48°C	34 à 43°C

Tableau III.7 : Classification des bitumes.

III.6. Les additifs :

Les additifs ou les polymères généralement à base de pétrole ou les dériver de pétrole lourds sont destinés à améliorer les propriétés de l'enrobé (enrobé à module élevé). Ils peuvent être introduits soit dans le mélange au moment du malaxage soit directement dans la cuve bitume.

En Algérie les additifs sont des produits importés soit par la France Pr Plast de l'entreprise Pr Industrie, ou en Allemagne par l'entreprise Lucobit.

Pour notre cas on a utilisé le résidus de PVC broyer.



Figure III.1 Résidus de PVC broyé.

III.7. Essai pour enrobé et études de formulation :

1. Teneur en liant dans un enrobé :

Afin d'assurer la cohésion d'un enrobé et l'enrobage de tous les grains, il faut définir une teneur en liant optimale.

Au pourcentage de liant, on peut relier la notion de module de richesse qui caractérise l'épaisseur moyenne du film de bitume qui entoure les granulats :

$P= \alpha *K*(S)^{1/5}$

P : teneur en liant ;

α : coefficient de correction pour prendre en compte la masse volumique réelle des granulats (α =2,65/masse volumique réelle des granulats) ;

K [2]: module de richesse variant de 2,75 pour les enrobés donnant le maximum de résistance, à 3,5 pour les enrobés les plus souples.

S : surface spécifique des granulats (m2/kg) c.à.d.la surface développée qu'auraient les granulats assimilés à des sphères.

Pour un mélange granulométrique donné, la formule suivante permet d'avoir une approximation de la surface spécifique S :

$100S =0,17G + 0,33g + 2,3S + 12s +135f$

Avec :

G : pourcentage de gros gravillons (Ø > 11)

g : pourcentage de petits gravillons (Ø > 6/11)

S : pourcentage de gros sable (Ø > 0,3/6)

s : pourcentage de sable fin (Ø > 0,08/0,3)

f : pourcentage de filler (Ø < 0,08)

Puisque le pourcentage de filler est prépondérant en ce qui concerne la surface spécifique et donc la teneur en liant, on utilise parfois la formule suivante : $S= 2,5 + 1,3f$

2 .Choix du niveau de l'épreuve de formulation :

Le niveau 0 (sans essais) correspond aux enrobés destinés aux zones non circulées. Les autres différents niveaux de l'épreuve varient du plus simple (niveau 1) au plus complet (niveau 4), les niveaux supérieurs englobant les exigences des niveaux inférieurs. La description du contenu de chaque niveau et les raisons de son choix font l'objet de l'importance du projet et la demande du maitre d'ouvrage.

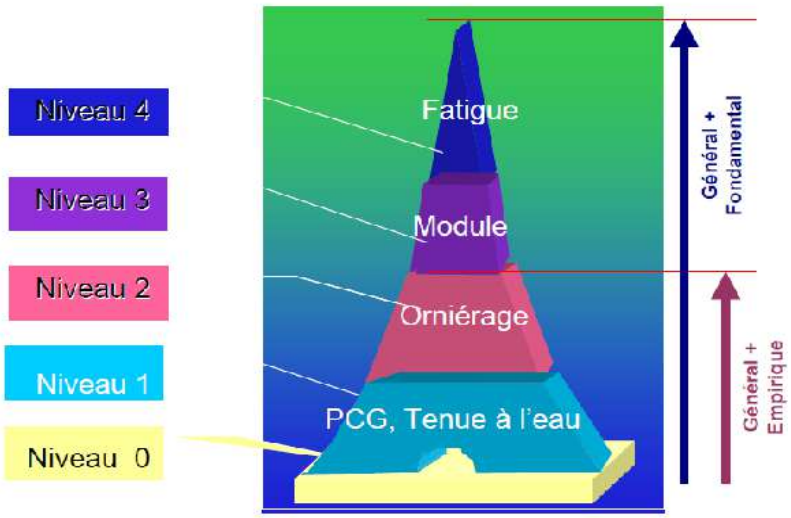


Figure III.2 : Niveaux de formulation

A .Essai de compactage à la presse à cisaillement giratoire (PCG) NF EN 12697-31

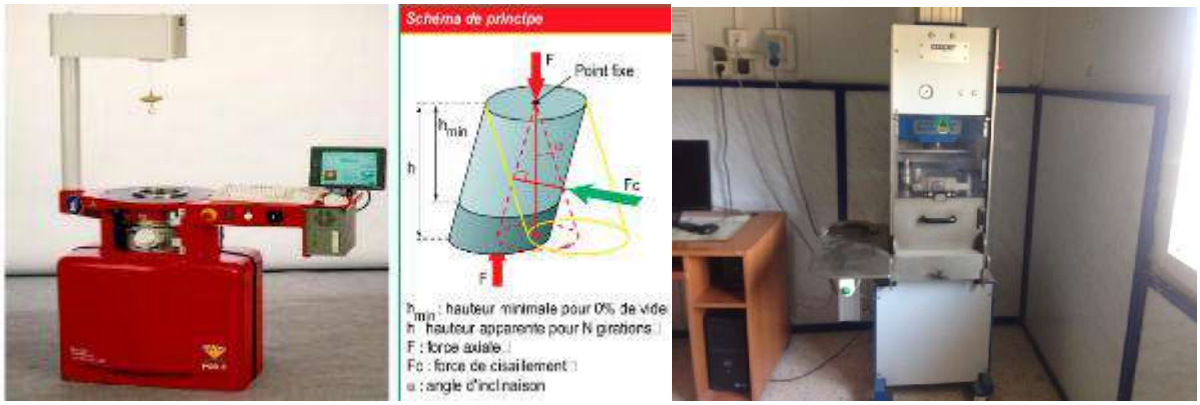


Figure III.3 : Presse à cisaillement giratoire (PCG)

Force vert. : 600 kPa Angle : 1°
Vitesse rot. : 30 tr/min
Température : 150°C
Moule : 150 mm

Compactage	Par pétrissage
Principe	- Pour vérifier la maniabilité de l'enrobé - Préparation des éprouvettes pour autre essais selon une densité ou pourcentage des vides ciblé
Résultats	Indice de vides par rapport à un nombre de giration donné

- L'essai de compactage à la PCG est une combinaison d'un cisaillement giratoire et d'une force résultante axiale appliquée par une tête mécanique.
- L'essai permet de calculer le pourcentage des vides et la compacité à n girations au moyen de la hauteur mesurée de l'éprouvette testée hn.
- Il faut savoir qu'à 100 % de compacité, la hauteur minimale de l'éprouvette est de 150 mm

Pourcentage des vides = ((hn_150)/hn) x100 Compacité C = 100_% vides =(150X100)/hn.

- L'essai PCG traduit la maniabilité de l'enrobé.
- En effet, plus la pente de la droite est forte, plus le matériau est maniable
- Cette caractéristique découle des normes qui exigent un certain pourcentage de vides à n girations.
- La maniabilité est un facteur important puisqu'elle traduit la facilité de mise en œuvre de l'enrobé sur le chantier.
- Si les valeurs du pourcentage des vides sont conformes et le coefficient de maniabilité est favorable, continuer les essais DURIEZ et la plaque d'orniérage, dans le cas contraire, modifier la formule d'enrobé.

B .Essai Duriez NF EN 12697-12 :



Figure III.4 : appareille Essai Duriez.

Principe	Permet de connaître la tenue à l'eau d'un enrobé bitumineux pour une température et compactage statique a double effet, exprimé par un rapport des résistances à la compression avec et sans immersion dans l'eau pendant 7 jours à 18° C.
Résultats	Le résultat sera comparé à la norme ou aux spécifications du marché

- Cet essai permet de connaître la tenue à l'eau d'un enrobé à chaud exprimé par un rapport des résistances à la compression avec immersion dans l'eau et à sec.
- Le mode de cet essai consiste à confectionner 12 petits moules cylindriques d'enrobés : 2 destinés à mesurer la masse volumique à la pesée hydrostatique.

- 5 conservés 7 jours à l'eau.
- 5 conservés 7 jours à l'air.
- Après ce temps les éprouvettes sont écrasées dans une presse hydraulique.
- La résistance à la compression simple = (charge d'écrasement)/(section de l'éprouvette)
- La résistance de l'éprouvette stockée en immersion est : r
- La résistance de l'éprouvette stockée à l'eau est : R
- Le rapport r/R est le résultat du test qui donne la tenue à l'eau de l'enrobé et qui sera comparé à la norme

C .Essai Marshall EN 12697-34 :

- L'essai Marshall est largement utilisé par les laboratoires Algériens, il permet d'avoir les caractéristiques suivantes :
- La stabilité qui est la résistance maximale à l'écrasement.
- Le fluage qui est le raccourcissement du diamètre de l'éprouvette au moment de sa rupture.
- Le mode opératoire de cet essai ne renseigne pas sur la tenue à l'eau de l'enrobé, néanmoins au niveau du CTTP d'Alger une méthode de travail a été développée qui consiste à introduire l'immersion ainsi que le calcul de gonflement, cette pratique est expliquée comme suit :
- On prépare un mélange hydrocarboné qu'on mettra dans des moules cylindriques
- On fait subir à l'enrobé un compactage en appliquant 50 coups de dame
- On fait refroidir les éprouvettes à l'air pendant 2 à 3 heures, chaque éprouvette est démoulée à l'aide d'une presse, conservé ensuite pendant 24 heures (phase de maturation).
- On prépare 6 éprouvettes de même composition :
- (03) éprouvettes conservées sans immersion.
- (03) éprouvettes immergées pendant 2 heures sous une pression normalisée.
- On calculera le volume, puis on fait immerger de nouveau pendant 7 jours (la température varie de 18 à 25 °C).
- Les éprouvettes (immergés et non immergés) sont soumissent à l'essai Marshall, la vitesse du plateau de la presse est réglée à 0,85 mm/s.

On calcule ensuite le rapport immersion / compression.

(s/S_m) =(stabilité avec 7 jours en immersion)/(stabilité avec 7 jours sans immersion)

Le pourcentage de gonflement =((Vi-V)/V)x1 00 .

V : volume de l'éprouvette après démoulage.

Vi : volume de l'éprouvette après : 1h sous vide, et 2h sous vide et à l'eau, ou après 7 jours d'immersion.

- Tout de même cet essai est largement critiqué pour les raisons suivantes :

- Le mode de confection des éprouvettes n'est pas représentatif du compactage obtenu sur chantier.
- L'optimum en termes de stabilité Marshall n'assure pas la résistance à l'orniérage sous l'effet du trafic.
- Le fluage donné par cet essai ne représente pas réellement ce phénomène sur terrain.

D .Essai d'orniérage NF EN 12697-22 :

Cet essai est très important pour les routes très circulés et avec un pourcentage de poids lourds assez élevé

Il permettra de simuler au laboratoire la résistance de l'enrobé à l'orniérage.

Mode d'essai :

- On détermine la profondeur de l'ornière au passage répété d'un pneumatique
- Selon l'épaisseur de l'enrobé on confectionne une plaque de 5 ou 10 cm
- On lui fait subir une énergie de compactage normalisée à 60°C.
- Plusieurs cycles sont appliqués 1000, 3000, 10 000, 30 000, 100 000.
- Le résultat (profondeur d'ornière) est comparé a la norme.
- Comparaison des formulations d'enrobés à chaud pour couches de roulement des chaussées très circulées utilisées du point de vue sécurité (glissance) et orniérage



Figure III.5: appareille essai d'orniérage.

Confection	Eprouvettes préparés par un compacteur des plaques
Principe	- Passage répétitif des charges (équivalent de 13 tonnes / essieu) - Température : 60° C
Résultats	Profondeur d'orniérage à 30 000 cycles

E. Essai de Module :

1. Notion de module de rigidité EN 121697 – 26

En science des matériaux, le module de rigidité est un indicateur du degré de cohésion au sein de la structure d'un matériau. Plusieurs matériaux utilisés en construction (acier, aluminium, bois, etc.) présentent une cohésion quasi-stable dans le domaine des conditions d'utilisation; le module d'élasticité permet une bonne appréciation de leur comportement mécanique. Pour un enrobé bitumineux, la structuration du liant hydrocarboné fait en sorte que son degré de cohésion varie en fonction de la température et de la fréquence de chargement. Pour connaître l'évolution de cette cohésion, l'étude de la relation entre la contrainte et la déformation dans divers scénarios de température et de période de charge est nécessaire et ce, dans des conditions contrôlées: c'est l'étude de sa rhéologie

2. Présentation de l'essai :

Les méthodes de caractérisation de la rigidité des mélanges hydrocarbonés à l'aide d'essais au choix, comprenant des essais de flexion et des essais de traction directe et indirecte. Les essais sont réalisés sur un matériau bitumineux compacté soumis à une charge sinusoïdale ou à d'autres charges contrôlées, utilisant différents types d'éprouvettes et de supports.

La procédure est utilisée pour classer les mélanges hydrocarbonés en fonction de leur module de rigidité, pour servir de guide pour les performances relatives dans les chaussées, pour disposer de données utilisées pour estimer le comportement structurel des chaussées et juger les résultats d'essais en fonction des spécifications concernant les mélanges hydrocarbonés.

Cet essai n'imposant pas de type particulier d'appareillage d'essai, le choix spécifique des conditions d'essai dépend des capacités et du domaine d'emploi de l'appareillage utilisé.
Pour le choix des conditions d'essai spécifiques, les exigences des normes produites sur les mélanges hydro- carbonés doivent être respectées.

L'applicabilité de cet essai est décrite dans les normes produites sur les mélanges hydrocarbonés EN 121697 – 26



Figure III.6 : Appareille essai de Module.

Principe	- Traction indirecte sur éprouvette cylindrique - Température : 15° C / Fréquence : 10 Hz
Résultats	Module de rigidité correspondant à une déformation horizontale de 5 µm

F .Essai de Fatigue NFP 98-261-1 :



Figure III.7 : Appareille essai de fatigue.

- Cet essai permet d'étudier le comportement des enrobés bitumineux vis-à-vis de la fissuration,
- Il est pratiqué sur des éprouvettes de forme trapézoïdales, l'éprouvette est encastrée à la base, sollicitée en tête en flexion sinusoïdale par déplacement imposé d'amplitude constante choisie afin de caractériser la rupture à un million de cycle.
- L'essai est pratiqué à 10°C et à une fréquence de 25 Hz.
- La répétitivité des cycles de flexion alternée entraîne un endommagement de l'éprouvette (des fissures sont localisées).

- L'essai est conduit jusqu'à réduction de moitié de l'effort mesuré en tête, c'est le critère de la rupture.
- Les résultats obtenus sont reportés sur un diagramme (déformation - nombre de cycles à rupture). Cette courbe de fatigue donne :
- La déformation correspondant à un million de cycles.
- La pente de la courbe de fatigue.
- La dispersion sur la logarithmique décimale du nombre de cycles à rupture SN. Ces données sont utilisées pour les calculs de dimensionnement en France.

III. 8. Fabrication des enrobés :

Les enrobés sont fabriqués par une centrale d'enrobage (ou poste d'enrobage), à froid ou à chaud. Il existe des centrales fixes, situés généralement à proximité d'une carrière, ou mobiles, principalement utilisées lors des grands travaux tels que la construction d'une autoroute.
Le processus de fabrication d'enrobé suit les étapes suivantes :

- Alimentation : remplissage de trémies (« pré doseurs ») avec les différentes coupures de granulats, à l'aide d'un chargeur.
- Adjonction éventuelle de fillers contenu dans un silo.
- Convoyage : les pré-doseurs déversent leur contenu à des vitesses différentes correspondant à la proportion désirée par coupure de matériau (en fonction de la formule d'enrobé à produire), sur un tapis convoyeur.
- Séchage : les matériaux sont enfournés dans le tambour malaxeur de la centrale, qui est un cylindre pouvant mesurer plus de 10 mètres de long et 2 m de diamètre, animé par des galets provoquant sa rotation, et disposant à l'autre extrémité d'un brûleur (généralement alimenté au fioul lourd), dont la flamme peut mesurer plusieurs mètres. À l'entrée du tambour, et tout au long de leur progression à l'intérieur de celui-ci, les matériaux sont séchés par la température de la flamme.
- Malaxage : tout au long de leur progression, les matériaux sont mélangés grâce à la rotation du tambour et des lames placées à l'intérieur.
- Adjonction des fines de recyclage : les fumées issues du séchage sont filtrées et les fines contenues dans ces fumées sont réinjectées dans le tambour afin de respecter la granulométrie initiale.
- Adjonction du bitume : les matériaux parvenant à l'autre extrémité du malaxeur sont «enrobés » avec le bitume injecté à l'aide d'une pompe selon la teneur désirée, et un dernier malaxage est effectué.

- Stockage : l'enrobé produit est ensuite stocké en trémies, soit à l'aide d'un chariot (ou skip) dans lequel on déverse l'enrobé en sortie du malaxeur par gâchées, soit en continu à l'aide de tapis adaptés.
- Chargement : l'enrobé stocké est ensuite chargé dans les camions qui se placent sous les trémies de stockage, ou se trouve une bascule.



Figure III.8 : Station d'enrobage.

CHAPITRE IV

DIMENSIONNEMENT DU CORPS DE CHAUSSEE

IV.1 Introduction :

La qualité d'un projet routier ne se limite pas à l'obtention d'un bon tracé en plan et d'un bon profil en long. En effet une fois réalisée, la route devra résister aux agressions des agents extérieurs et aux surcharges d'exploitation, action des essieux des véhicules et notamment les poids lourds, et aussi des gradients thermiques, pluie, neige, verglas ……..ext, Pour cela il faudra non seulement assurer à la route de bonnes caractéristiques géométriques mais aussi de bonnes caractéristiques mécaniques lui permettant de résister à toutes les charges pendant toute sa durée de vie.

Le dimensionnement des structures des chaussées constitue une étape importante. Il s'agit en même temps de choisir les matériaux nécessaires ayant des caractéristiques requises et de déterminer les épaisseurs des différentes couches de la structure de la chaussée. Tout cela en fonction de paramètres très fondamentaux suivants :

- Le trafic.
- L'environnement de la route (le climat essentiellement).
- Le sol support.

IV.2 Évolution des techniques de construction :

La roue dont l'invention se perd dans l'histoire est évidemment l'instrument miracle du transport terrestre. Mais elle a ses inconvénients même équipée de pneumatiques. On circule très bien sur des pistes argileuses bien nivelées, mais qu'il pleuve, et l'argile mouillée devient vites une patinoire, voire un bourbier. Aussi, l'idée est-elle venue d'un matelas de pierres s'interposant entre la roue et le sol.

Les premières véritables chaussées furent construites par les Romains pour leurs voies impériales, avec un objectif essentiellement militaire, celui de permettre un déplacement rapide des légions en différents points de l'empire, quelles que soient les conditions météorologiques.

Les chaussées de cette époque étaient déjà constituées de plusieurs couches de matériaux parfaitement codifiées, avec de grandes dalles en pierre posées sur un béton de chaux.

Pendant tout le moyen Age et jusqu'au début du XIX ème siècle, peu de progrès ont été réalisés dans ce domaine, mis à part l'utilisation des pavés, taillés à la main et posés sur une couche de sable.

Plus tard, avec l'apparition des véhicules plus lourds et plus nombreux, et le début de la mécanisation des travaux, on voit se développer les structures à base de "hérisson" et de "macadam".

Les chaussées de l'époque étaient composées de blocs de 250 mm environ pour le "hérisson" et de pierre cassée 40/70 mm pour le "macadam", cette pierre cassée étant "bloquée" avec de l'argile pour donner le "macadam à l'eau".

Les premiers progrès ont été réalisés au niveau de la surface des chaussées quand apparut l'automobile, pour lutter contre la poussière soulevée par les véhicules par temps sec. Par hasard, on découvrit les vertus du goudron produit dans les cokeries d'usine à gaz et de hauts fourneaux. Mais très vite, on constata que ce goudron était glissant par temps de pluie, et on lui adjoignit des gravillons pour donner naissance à l'enduit superficiel. Mais on s'aperçoit ensuite qu'il ne fallait ni trop, ni trop peu de goudron, et de gravier, qu'il fallait utiliser un gravier dur et anguleux, et un goudron qui ne se ramollisse pas trop l'été. C'est à cette époque qu'apparaissent les premières spécifications relatives tant aux matériaux qu'à la façon de les mettre en œuvre. C'est l'enduit superficiel qui a fait sortir la route d'un artisanat archaïque et conservateur pour l'amener à un niveau industriel et à la mécanisation. Ensuite, les enrobés sont apparus et puis le pétrole avec sa fraction dure : le bitume.

L'homme étant pour de nombreux travaux remplacé par la machine, les techniques à base de mise en œuvre manuelle furent remplacées par des techniques adaptées aux moyens mécaniques. C'est ainsi que l'on vit apparaître entre 1930 et 1940 en corps de chaussée les matériaux à granulométrie continue et étalée 0/D qui remplacèrent peu à peu les matériaux à granulométrie "serrée" d/D, comme la pierre cassée.

Depuis les années 50, avec les nouvelles conditions de trafic, notamment les poids lourds avec son essieu simple à 13 tonnes (130 KN), les anciennes solutions de type empierrement ou macadam se sont avérées insuffisantes, et l'on a été amené à généraliser l'emploi de matériaux agglomérés par un liant tant pour le corps de chaussée que pour la surface.

IV.3 Sollicitations supportées par les chaussées :

IV.3.1 Sollicitations verticales sur la chaussée (cadre réglementaire) :

Les prescriptions relatives aux charges et aux dimensions des véhicules sont définies par le Code de la route. Il s'y ajoute depuis peu une réglementation encore évolutive.

Les prescriptions du Code de la route sont les suivantes.

- Longueur maximale :
  -Véhicule simple ……..11 m
  -Remorque …….…… 11 m
  -Véhicule articulé …….. . 15,5 m
  -Véhicule tracteur et sa remorque …… .18 m
- Largeur totale (véhicule et chargement, toutes saillies comprises)…..2,50 m
- Poids maximal en charge :
  -véhicule à 2 essieux ……....…….19 t
  -véhicule à 3 essieux ou plus …….....26 t
  -véhicule articulé ou véhicule tracteur avec remorque.....38 t

De plus, le poids total en charge ne doit pas dépasser 5 t par mètre linéaire de distance entre les essieux extrêmes, et l'essieu le plus chargé ne doit pas supporter une charge supérieure à 13 t.

Pour deux essieux consécutifs distants de (e), la charge sur l'essieu le plus chargé ne doit pas dépasser :

- pour e = 0,90 m ……..7,35 t
- pour 0,90 m < e < 1,35 m…….ajouter 0,35 t par 5 cm
- pour e = 1,35 m..... 10,5 t

Nota : (e) écartement entre essieux.

Compte tenu de l'égale répartition des charges sur des groupes d'essieux, il en résulte des charges maximales de 21 t pour les essieux tandem et de 31,5 t pour les essieux tridem, contre 13 t pour un essieu isolé.

IV.3.2 Charges effectives :

Deux éléments perturbateurs conduisent à ce que les charges réelles qui s'appliquent à la chaussée sont supérieures aux charges limites prescrites par la réglementation.

Le premier est lié aux effets dynamiques qui apparaissent lorsque le véhicule est en mouvement. Certains de ces effets tels que la surcharge des roues extérieures dans les virages ou la surcharge des roues avant lors du freinage restent très modérés. Par contre, les oscillations des véhicules, que nous avons évoquées précédemment sous l'angle du confort, induisent des surcharges brèves, mais répétées, dont la valeur instantanée peut être du même ordre que la charge statique et conduire à doubler l'effort sur la chaussée.

En fait, on ne sait guère prendre en compte ces effets dynamiques dans le calcul des chaussées. Ils sont intégrés de façon implicite dans **les coefficients de sécurité** des méthodes pratiques de dimensionnement.

Plus notables, car permanentes et amplifiées par les effets dynamiques, sont les conséquences du sur chargement des véhicules. Ces surcharges sont redoutables, notamment celles qui concernent la masse des essieux dont l'effet destructeur sur certaines chaussées est proportionnel à la puissance quatrième, ou plus, du rapport des charges.

Nous donnons dans la **figure IV.1**, à titre d'exemple, les charges mesurées sur les autoroutes françaises entre 1982 et 1990, repérées par rapport aux limites réglementaires correspondant aux différents types de véhicules et aux différentes configurations d'essieux.

On voit sur cet exemple que les dépassements sont très importants. Outre le problème de police posé aux autorités responsables, cela oblige à en tenir compte dans la détermination de « L'essieu équivalent », base des calculs de dimensionnement des chaussées.

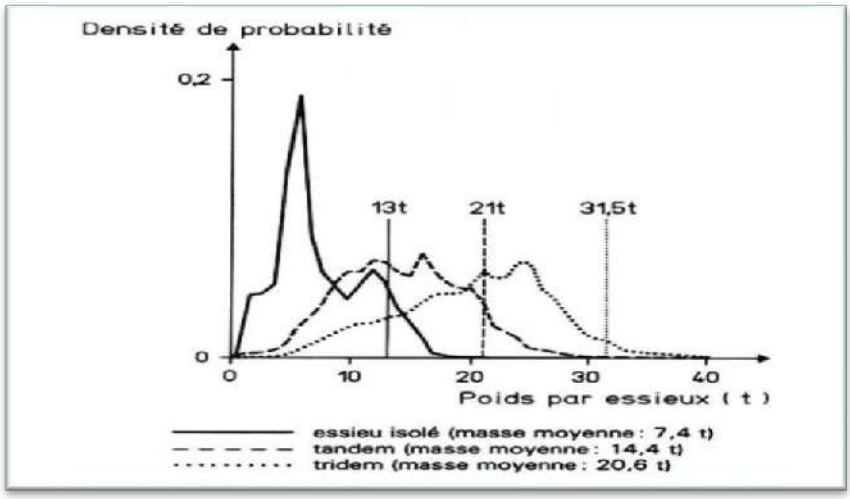


Figure IV.1 – Charges mesurées sur les autoroutes françaises
Entre 1982 et 1990

IV.3.3 Sollicitations longitudinales :

a) Cisaillements sous le pneumatique en roulement libre :

Même en dehors de tout freinage et de toute accélération du véhicule, l'interface entre le pneumatique et le revêtement est le siège de cisaillements longitudinaux. L'écrasement du pneumatique lui confère un rayon fictif de roulement inférieur à son rayon réel. Cette différence engendre sur la chaussée des contraintes tangentielles, de somme géométrique nulle, dirigées vers l'avant pour la partie centrale de l'aire de contact, et vers l'arrière pour sa périphérie (le sens étant inversé pour les contraintes sur le pneumatique) comme l'indique la **figure III.2.**

Sur une partie de l'aire, ces cisaillements sont suffisamment faibles pour ne pas engendrer de glissements, grâce à l'élasticité du caoutchouc.

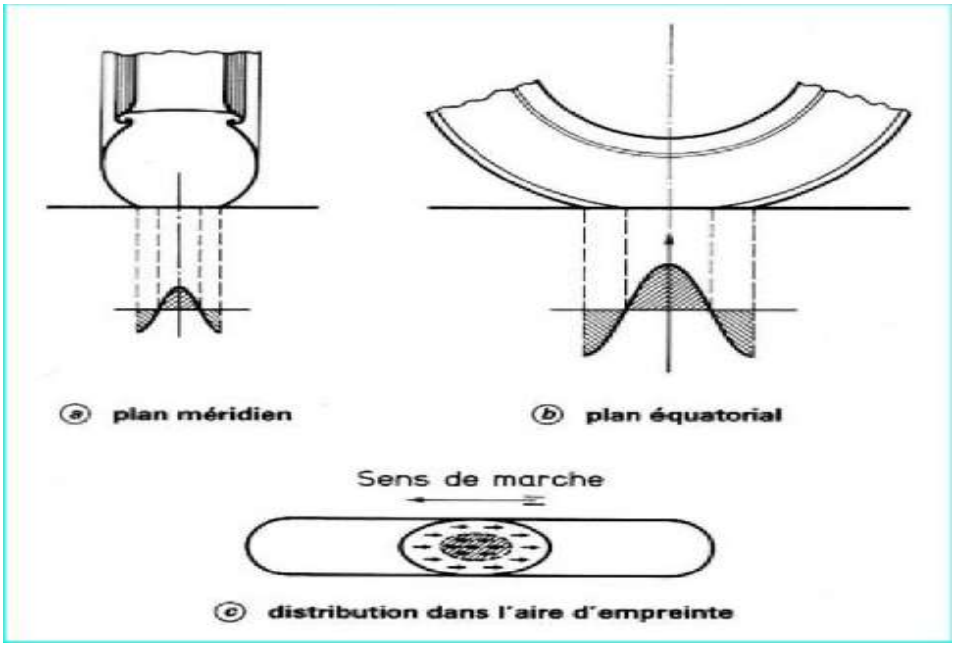


Figure IV.2 – Cisaillements longitudinaux sous un pneumatique

b) Freinage :

Les accélérations posent rarement des problèmes importants. L'efficacité du freinage est au contraire un élément décisif pour la sécurité de la conduite, les freins établissent un frottement entre une partie mobile liée à la roue (tambour ou disque) et une partie fixe. Ils provoquent une décélération angulaire de la roue. Celle-ci engendre à l'interface entre le pneumatique et la chaussée une réaction tangentielle qui bouleverse la répartition des cisaillements existants en roulement libre.

IV.3.4 Sollicitations transversales :

Lorsqu'une roue chargée circule sur une chaussée et qu'elle subit un effort transversal (force centrifuge dans un virage, effet d'un vent transversal), elle a tendance :

- à pivoter pour se rapprocher de la direction de la force perturbatrice ;
- à dévier sa trajectoire dans le sens de la sollicitation

IV.3.5 Les sollicitations d'origine thermique :

Les variations de température (surtout lorsqu'elles sont brusques) peuvent engendrer dans les solides élastiques des champs de contrainte.

Dans le domaine des chaussées, ce phénomène a des conséquences qui intéressent surtout les assises traitées aux liants hydrauliques et en particulier les chaussées en béton, Comme autres sollicitations d'origine thermique, il y a bien évidemment les effets du gel mais également les effets de l'ensoleillement, sur la déformation des mélanges bitumineux, et sur le vieillissement du bitume

IV.4 Les différentes couches d'une chaussée :

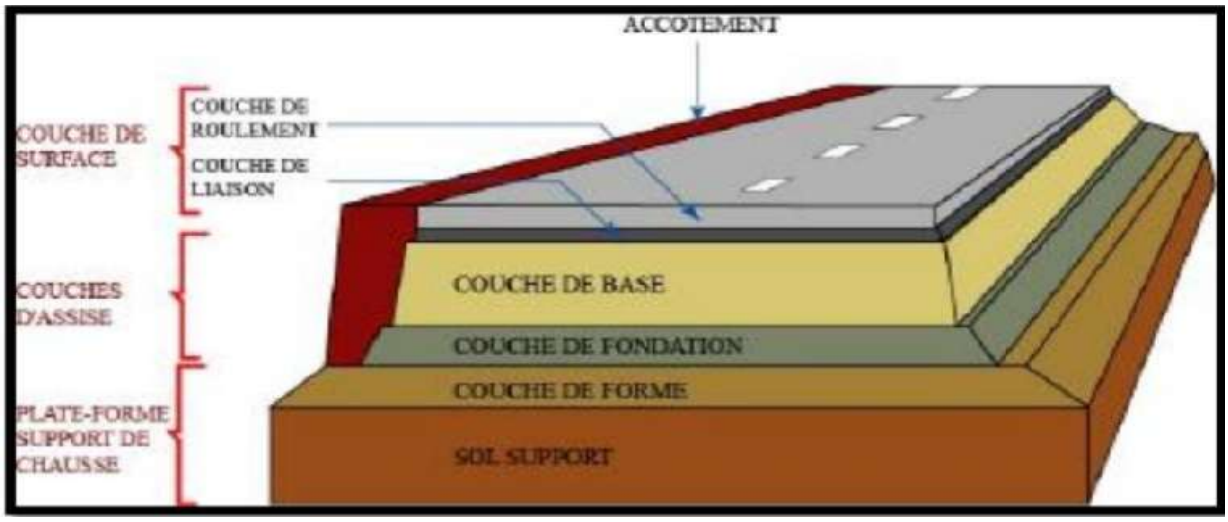


Figure IV.3 : Coupe d'une structure de chaussé et terminologie des différente couches

IV.4.1 Le sol support :

Dans la conception des structures de chaussée, le sol support est souvent considéré comme couche à part entière d'une structure éventuellement surmonté d'une couche de forme en matériaux sélectionnées ou traités, le sol support constitue la plate-forme sur laquelle repose la chaussée, Pour bien remplir son rôle, il est souhaitable que cette plate-forme possède un certain nombre de qualité :

- Une assise convenable pour le compactage des couches de chaussée et doit donc être suffisamment rigide, cette rigidité ne doit pas se détériorer pendant la période qui sépare l'exécution des terrassements et la réalisation de la chaussée, elle doit donc être peu sensible aux intempéries.
- Elle participe, par sa rigidité, au fonctionnement de la chaussée, une meilleure plate-forme autorise une chaussée moins épaisse, donc moins couteuse.
- Pour répondre à ces exigences, on est conduit à apporter une attention particulière aux choix du sol support et souvent même à prévoir, en partie supérieure des terrassements, une couche particulière appelée couche de forme dont les qualités sont intermédiarités entre celles du sol et celle de la chaussée. Ce choix se fait sur la base des résultats de l'étude géotechnique dont l'objectif est de recenser et de caractériser les sols rencontrée sur le tracé compte tenu de la grande diversité et de l'hétérogénéité des sols naturels, on s'efforce de les regrouper en familles homogènes.

Sur la base de ces regroupement, on définit l'affectation de chaque catégorie de sol dans le cadre de l'exécution des terrassements et l'on sélectionne notamment ceux que l'on souhaite réserver pour la partie supérieur des terrassements et ceux pour la couche de forme.

IV.4.2 la couche de forme :

Le souci de faire reposer la chaussée sur une plate-forme a conduit dans un premier temps a réservé pour la partie supérieure des terrassements **PST**, les meilleurs matériaux rencontrés sur le tracé, puis à faire émerger la notion de couche de forme.

La couche de forme peut être une structure parfois assez complexe. Mise en place sur **l'arase** des terrassements, elle permet d'avoir une plate-forme support de chaussée homogène et performante. Elle peut être constituée d'une seule couche de matériaux ou au contraire de couche successive répondant à des fonctions distincts, pouvant **inclure un géotextile**, et peuvent se terminer par un enduit gravillonnée ou un **film de protection**.

Elle a essentiellement une double fonction :

- **À court terme :** et pendant la phase des travaux, elle **protège le sol support**, elle établit une qualité de nivellement et permet la circulation des engins pour l'approvisionnement des matériaux et la construction des couches de chaussée elle doit présenter des qualités suffisantes

de résistance à l'intempérie, de portance vis-à-vis des engins qui approvisionneront les matériaux de la couche de fondation.

- À long terme : vis avis du fonctionnement mécanique de la chaussée ; elle permet de rendre plus homogène et éventuellement d'améliorer les caractéristiques dispersées des matériaux de remblai ou de terrain en place. Elle doit être peu sensible à la fluctuation de l'état hydrique du sol et contribuer au drainage de la chaussée.

IV.4.3 Les couches d'assise :

L'assise de chaussée se décompose en deux sous-couches : la couche de fondation, surmontée de la Couche de base.

a. La couche de fondation :

Elle reprend les contraintes normales et les répartit sur le sol-support (ou à la couche de forme éventuellement) afin de maintenir les déformations à ce niveau dans les limites admissibles.

b. Couche de base :

Cette couche supporte exactement l'action des charges verticales à l'intérieur de laquelle les pressions élevées s'atténuent avant d'être transmise à la couche de fondation. Cette couche doit offrir une résistance assez suffisante afin d'éviter toute déformations excessives de la couche de roulement. Elle est constituée d'éléments de faible granulométrie à celle de la couche de forme pour éviter le poinçonnement des couches supérieurs.

La couche de fondation et la couche de base forment le « corps de chaussée ».

IV.4.4 Couche de surface :

Cette couche est en contact direct avec les pneumatiques des véhicules et les charges extérieures. Elle a pour rôle essentiel d'encaisser les efforts de cisaillement provoqués par la circulation. Elle est, en général, composée d'une couche de roulement et d'une couche de liaison.

a) La couche de roulement :

C'est la couche supérieure de la structure de chaussée sur laquelle s'exercent directement les agressions conjuguées du trafic et du climat. On lui demande des qualités d'usage précises à savoir : une forte adhérence afin d'encaisser les efforts de cisaillement, une bonne drainabilité, un bon niveau d'uni et une réduction du bruit de roulement des véhicules. Selon les besoins, on utilise soit la technique des enrobés épais, soit celle des enrobés minces ou bien celle des enrobés très minces voire ultra minces.

b) La couche de liaison :

L'apport structurel de cette couche est secondaire (sauf les chaussées à assise granulaire dont la couche de surface est la seule couche liée), elle est tributaire de la pérennité de la chaussée.

Le choix de la couche de surface doit résulter de la prise en considération de plusieurs objectifs tels que :

-La sécurité et le confort des usagers, en relation avec les caractéristiques de surface.

-Le maintien de l'intégrité de la structure, par la protection des couches d'assise vis-à-vis des Infiltrations des eaux pluviales et des sels de déverglaçâtes.

-L'impact sur l'environnement, avec notamment la recherche d'une réduction des bruits de roulement

-Les possibilités de régénération des caractéristiques de surface.

Suivant la description fonctionnelle des couches de chaussée les matériaux de construction peuvent regrouper en deux grandes familles selon qu'ils soient liés ou non liés :

-Les matériaux granulaires non liés : ou encore Graves Non Traitées (GNT), utilisés pour la réalisation des chaussées à faibles trafics ;

-Les matériaux granulaires liés : utilisés pour la réalisation de structures de chaussées à forts trafics.

IV.5 Les différentes familles de structures de chaussée :

Les chaussées communément rencontrées peuvent être classées en six catégories en fonction de la structure qui les constitue.

1. chaussée souple ;
2. chaussée bitumineuse épaisse ;
3. chaussée semi-rigide (ou à assise traitée aux liants hydrauliques) ;
4. chaussée rigide (ou en béton) ;
5. chaussée mixte ;
6. chaussée inverse.

1. Les chaussées souples :

Les chaussées souples sont des chaussées dont l'assise est constituée de matériaux non traités, recouverte par une épaisseur bitumineuse relativement faible (inférieure ou égale à 0,12 m).

a. Mode de fonctionnement :

La couverture bitumineuse relativement mince (~ 0,12 m) assure peu la diffusion des contraintes verticales dues au trafic et subit à sa base des efforts répétés de traction par flexion **(Figure IV.4)**.

Les efforts générés par le trafic sont donc diffusés à travers l'empilement granulaire de l'assise jusqu'à la surface du sol support.

L'assise en matériaux non traités présente une faible rigidité qui est en relation avec l'épaisseur et la nature de la couche granulaire, et la rigidité du sol ; cela a pour effet de rendre ces chaussées particulièrement sensibles aux variations d'état hydrique des matériaux non traités et des sols supports.

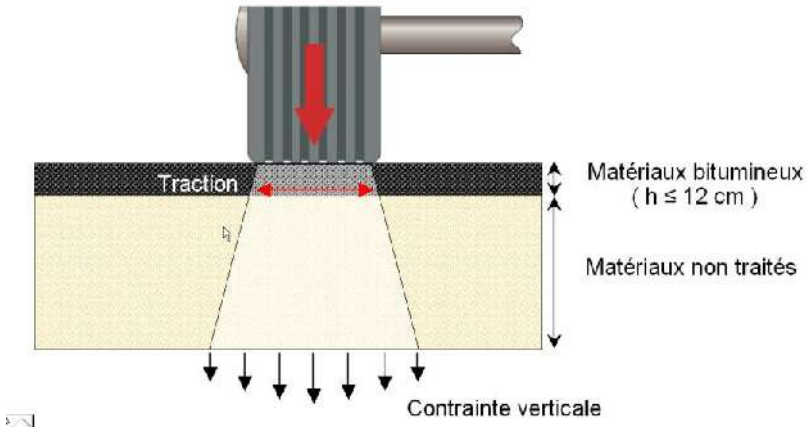


Figure IV.4 : fonctionnement d'une structure souple

b. Mode d'endommagement :

Les efforts verticaux transmis aux matériaux non traités et au sol support sont relativement élevés, ce qui a pour effet de générer le développement de déformations plastiques au sein des couches non liées (sol, couches granulaires) et d'entraîner l'apparition de déformations permanentes en surface (orniérage à grand rayon, flaches et affaissements) ; ces déformations croissent avec le cumul du trafic. Les efforts répétés de traction - flexion à la base de la couverture bitumineuse entraînent une fatigue de celle-ci, qui se traduit en surface par l'apparition de fissuration longitudinale évoluant rapidement vers un faïençage à mailles fines.

Le comportement de ces chaussées reposant essentiellement sur la capacité portante des couches non traitées (sol et matériaux granulaires), tout accroissement de la teneur en eau de ces matériaux fragilise la structure. L'eau peut venir de fossés mal entretenus, de bas-côtés perméables, du sol lui-même (remontée de nappe, chaussée en déblai ou en profil mixte) ou de la surface devenue perméable.

La possibilité pour les eaux superficielles de s'infiltrer dans les fissures de la couche de surface (et conséquemment dans l'assise) provoque une accélération des dégradations : épaufrures aux lèvres des fissures avec départ de matériaux, augmentation de l'amplitude des déformations, puis apparition de nids-de-poule.

2. *Les chaussées bitumineuses épaisses :*

Les chaussées bitumineuses épaisses sont des chaussées dont l'assise est constituée de matériaux bitumineux, d'épaisseur totale supérieure à 0,12 m.

a. *Mode de fonctionnement :*

La rigidité des couches en matériaux bitumineux permet de diffuser, en les atténuant fortement, les contraintes verticales transmises au support. Les efforts induits par les charges roulantes sont repris en traction-flexion dans les couches bitumineuses **(Figure IV.5).**

Tant que les interfaces entre les différentes couches restent collées, les efforts de traction maximaux se produisent à la base de la couche la plus profonde. Si les couches sont décollées, chacune d'elles se trouve sollicitée en traction, avec une amplitude de la sollicitation plus grande, et peut se rompre par fatigue. La qualité des interfaces a donc une grande incidence sur le comportement de ces chaussées.

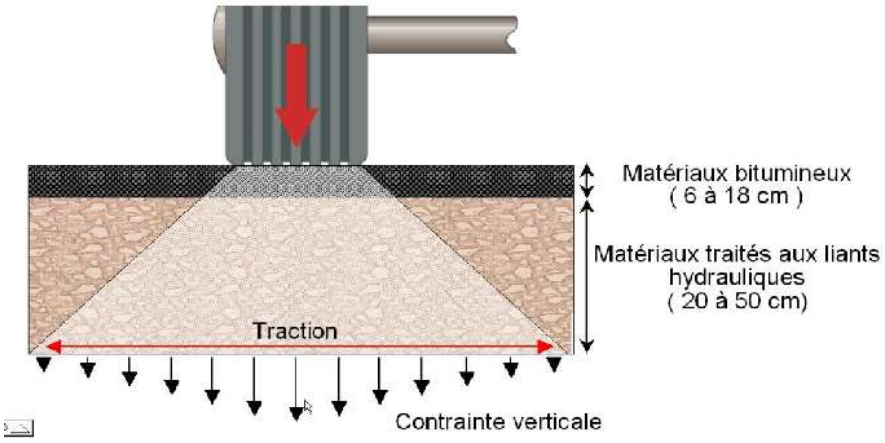


Figure IV.5 : fonctionnement d'une structure bitumineuse épaisse

b. *Mode d'endommagement*

Dans le cas d'une chaussée correctement dimensionnée vis-à-vis du trafic et de la plate-forme support, les premières dégradations affectent généralement les couches de surface :

- Orniérage par fluage de la couche de surface, favorisé par des températures élevées, un trafic lourd lent ou des choix inadaptés de matériaux et de formulation ;
- Arrachement de gravillons sous l'effet des efforts tangentiels engendrés par le trafic ;
- Apparition d'une fissuration anarchique traduisant un durcissement par vieillissement du bitume de la couche de roulement (oxydation, gradients thermiques, lessivage des eaux superficielles) ;
- Orniérage par déformation permanente du sol support peu fréquent : les efforts verticaux transmis au support sont généralement suffisamment faibles pour ne pas entraîner de sollicitations excessives du sol à l'origine de déformations permanentes avant l'endommagement

par fatigue des couches bitumineuses liées (sauf cas exceptionnels tels qu'une circulation intense après un hiver très rigoureux ou un défaut d'exécution par exemple) ;

À plus long terme, apparition de fissures longitudinales par fatigue dans les bandes de roulement : les efforts répétés de traction-flexion à la base de l'assise bitumineuse entraînent une dégradation par fatigue de celle-ci, se traduisant par l'apparition d'une fissuration remontant peu à peu du fond de la structure jusqu'à affecter la couche de roulement. La fissuration longitudinale observée dès lors en surface évolue vers du faïençage dont la dimension des mailles se réduit peu à peu, cette transformation s'amorçant dans les zones les plus faibles (qualité de portance du support, caractéristiques du matériau lié, zone de décollement entre couches) ;

Fissuration longitudinale dans les bandes de roulement : elle peut aussi apparaître en progressant du haut vers le bas des couches bitumineuses.

3. Les chaussées semi-rigides ou à assise traitée aux liants hydrauliques :

Les chaussées semi-rigides sont des chaussées dont l'assise est constituée de Matériaux Traités avec un Liant Hydraulique (MTLH).

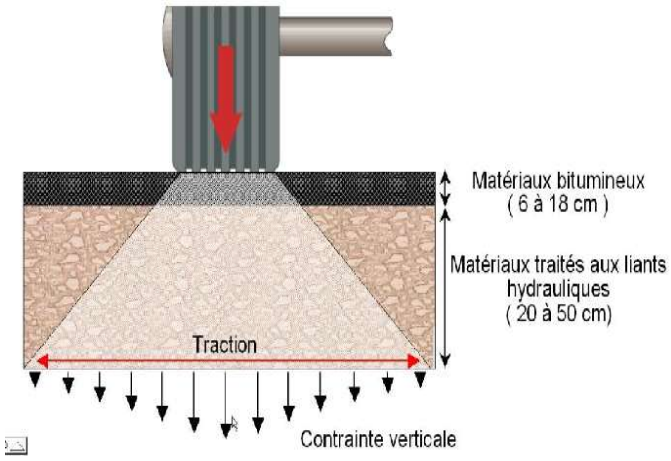
a. Mode de fonctionnement :

La grande rigidité des MTLH permet d'atténuer fortement les contraintes verticales transmises au support de chaussée.

L'assise traitée subit des contraintes de traction-flexion qui s'avèrent déterminantes pour le dimensionnement de ce type de chaussée.

Tant que l'interface entre la couche de base et la couche de fondation est collée, la contrainte maximale de traction est observée à la base de la couche de fondation. Si cette interface est décollée ou glissante, ce qui arrive pour la majorité des structures construites avec des liants hydrauliques à prise « rapide » (ciment, liant routier, laitier pré broyé), les couches travaillent toutes deux en traction à leur ase. La qualité des interfaces a donc une grande incidence sur le comportement de ces chaussées (**Figure IV.6.a et IV.6.**)

Les assises traitées aux liants hydrauliques sont sujettes aux retraits de prise et thermique qui provoquent une fissuration transversale remontant rapidement au travers de la couche de roulement (de l'ordre du centimètre par an), selon un espacement assez régulier (entre 5 et 15 m).Suivant les variations thermiques, l'ouverture de la fissuration évolue de quelques dixièmes de millimètres à quelques millimètres, entraînant des conditions d'engrènement variables



FigureIV.6.a : Structure monocouche ou interface couche de base/couche de fondation collée.

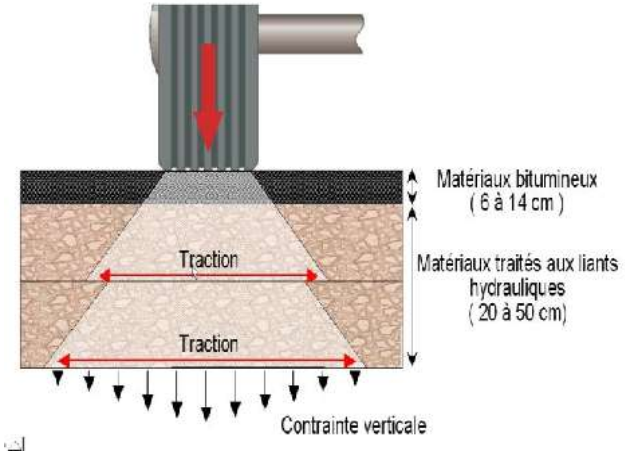


Figure IV.6.b : Structure bi-couche à interface couche de base/couche de fondation semi-collée ou glissante

Figure IV.6: fonctionnement d'une structure semi-rigide

b. Mode d'endommagement :

Au droit des fissures transversales de retrait :

- souvent franches lors de leur apparition, les fissures transversales tendent à se dédoubler et à se ramifier sous l'effet du trafic. L'étanchéité de surface n'étant plus assurée, la pénétration des eaux superficielles lors de précipitations entraîne une dégradation de la structure. Sous l'effet du trafic lourd, l'eau présente dans les fissures transversales fait l'objet d'un pompage (surpression – dépression) ayant pour conséquences :
- une diminution de la qualité du collage des interfaces et une désagrégation de la partie supérieure de l'assise et des parois de la fissure ;
- une augmentation de l'allongement à la base de la couverture bitumineuse ;
- un accroissement des contraintes de traction à la base des couches traitées et indirectement de la contrainte verticale sur le support de chaussée.
- en l'absence d'entretien (scellement des fissures de retrait), la dégradation de la fissuration transversale peut se traduire par l'apparition de remontées de boues en surface en période humide, la formation de flaches associées à du faïençage et des départs de matériaux (nids de poule).

Sur l'ensemble de la chaussée :

- par suite de coefficients de dilatation thermique différents entre les matériaux bitumineux et hydrauliques et des contraintes tangentielles induites par l'action du trafic, l'interface entre matériaux bitumineux et matériaux hydrauliques peut être amenée à se décoller. Les quelques centimètres supérieurs de l'assise traitée étant souvent de plus faible résistance, un glissement

partiel peut rapidement apparaître, ce qui a alors pour conséquence une dégradation rapide de la couche bitumineuse, par fatigue structurelle ;

- les efforts répétés de traction à la base de l'assise hydraulique entraînent sa dégradation par fatigue, traduite par une fissuration longitudinale qui se développe dans les bandes de roulement, et conduit à terme à la ruine de la structure en se maillant avec les fissures de retrait (phénomène rare sur les structures bicouches, plus fréquent sur les structures monocouches).

4. Les chaussées à structure mixte :

Les chaussées à structure mixte sont des chaussées dont l'assise est constituée de deux couches de matériaux différents : couche de fondation en matériaux traités aux liants hydrauliques et couche de base en matériaux bitumineux. Le rapport de l'épaisseur totale des couches bitumineuses à celle de la structure est compris entre 0,4 et 0,5.

NB : dans certains cas, une structure semi-rigide rechargée par des couches d'entretien successives s'apparente (dans le rapport épaisseur de matériaux bitumineux/épaisseur de matériaux traités aux liants hydrauliques) à une structure mixte. Pour autant, son mode de dégradation reste celui d'une structure semi-rigide (mode de dégradation principale par remontée des fissures de retrait), et non pas celui d'une structure mixte (mode de dégradation supposé par fissuration de la couche de fondation, puis de la couche de base).

a. Mode de fonctionnement :

Les matériaux hydrauliques de la couche de fondation diffusent et atténuent, du fait de leur rigidité élevée, les efforts transmis au sol support.

Grâce à son épaisseur, la couche de base en matériaux bitumineux permet de ralentir la remontée des fissures transversales de la couche de fondation et d'atténuer les gradients thermiques journaliers. En sus, ses performances mécaniques lui permettent de réduire les contraintes de flexion à la base de la couche de fondation **(Figure IV.7).**

Par suite de coefficients de dilatation thermique différents entre les matériaux bitumineux et hydrauliques et de l'action du trafic, les couches de base et de fondation peuvent finir par se décoller et se rompre dans certaines zones, ce qui conduit à considérer un mode de fonctionnement mécanique de la structure en deux temps :

- 1er temps : l'interface entre les couches de fondation et de base est considérée collée : la base de la couche traitée aux liants hydrauliques est sollicitée en fatigue par traction ;

- 2nd temps : l'interface entre les couches de fondation et de base est localement décollée : dès lors, les deux couches sont fortement sollicitées en traction à leur base. La couche de fondation est particulièrement sollicitée, ce qui conduit à sa ruine rapide (module de calcul divisé par 5).

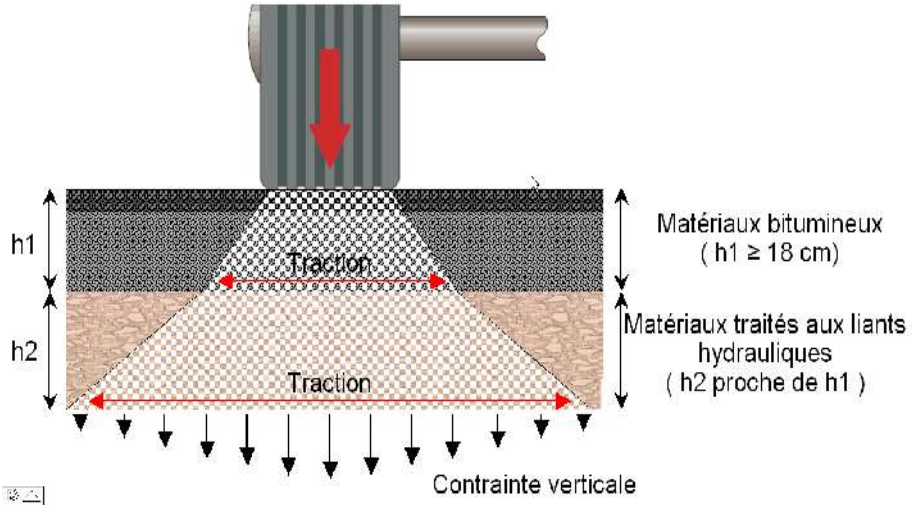


Figure IV.7 : fonctionnement d'une structure mixte

b. Mode d'endommagement :

La fissuration transversale de retrait de la couche de fondation affecte au fil du temps les couches bitumineuses. Ces fissures, sous l'effet conjugué du trafic et des pénétrations d'eau, évoluent en se dédoublant, entraînant une dégradation des matériaux bitumineux.

Les efforts répétés de traction à la base de l'assise hydraulique entraînent sa dégradation par fatigue, traduite par l'apparition d'une fissuration longitudinale remontant peu à peu dans la structure. Lorsque la grave hydraulique est dégradée et/ou que l'interface entre les matériaux hydrauliques et bitumineux présente des signes de faiblesse, la couche de base est sollicitée à son tour par fatigue, ce qui se traduit alors par l'apparition d'une fissuration longitudinale.

5. Les structures inverses :

Les chaussées à structure inverse sont des chaussées dont l'assise est constituée de Matériaux Traités aux Liants Hydrauliques (MTLH), recouverte par une couche intermédiaire en Grave Non Traitée (GNT) de faible épaisseur (~ 0,12 m), et d'une couche de base en matériaux bitumineux.

a. Mode de fonctionnement :

La grande rigidité des MTLH permet d'atténuer fortement les contraintes verticales transmises au support de chaussée.

La rigidité des couches bitumineuses permet de diffuser, en les atténuant, les contraintes verticales transmises à la couche de GNT. Les efforts induits par les charges roulantes sont repris en

traction par flexion dans les couches bitumineuses **(Figure IV.8).** Tant que les interfaces entre les couches bitumineuses restent collées, les efforts de traction maximaux se produisent à la base de la couche bitumineuse inférieure.

Le rôle de la GNT est de ralentir la remontée des fissures de retrait thermique de la Grave Hydraulique.

Enfin, la rigidité de la couche en MTLH contribue grandement à la reprise des efforts en traction.

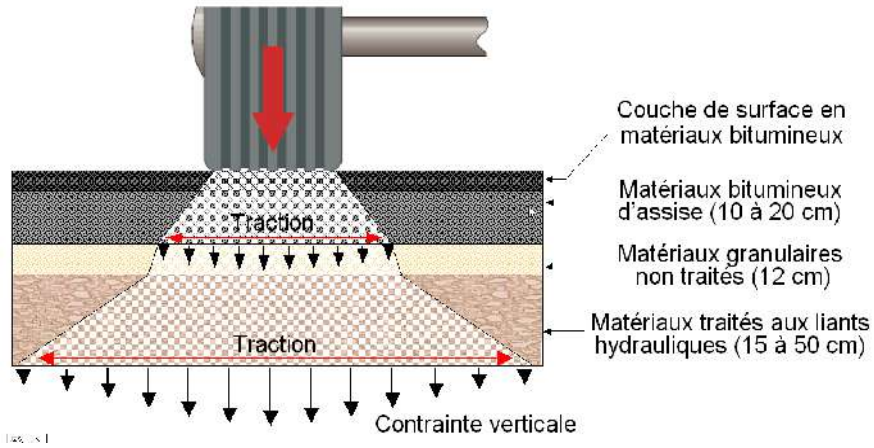


Figure IV.8: fonctionnement d'une structure inverse

b. Mode d'endommagement :

Deux modes d'endommagement concourent à la ruine de la chaussée :

- la fissuration longitudinale de fatigue des couches bitumineuses qui favorise les entrées d'eau dans la GNT, altère sa rigidité et la rend plus sensible aux déformations permanentes. Ce phénomène amplifie la fatigue des couches bitumineuses avec une évolution rapide vers du faïençage ;

- la fissuration transversale de retrait thermique du MTLH qui apparaît en surface sous forme de fissures irrégulières, dédoublées donc difficile à étancher.

IV.6 Facteurs influant sur les dégradations :

Les structures de chaussée vont se dégrader sous l'action de différents facteurs qui peuvent être classés en trois catégories :

- extérieurs à la chaussée ;
- liés à la structure elle-même, à ses défauts de conception et de réalisation ;
- Liés aux matériaux constitutifs.

III.6.1 Facteurs extérieurs :

- Le trafic est le premier des facteurs extérieurs provoquant la ruine des chaussées. Il agit en sollicitant les couches traitées en traction/extension par flexion et en poinçonnant les couches non liées (sol support et GNT), provoquant respectivement fissures et déformations permanentes.

- Il peut également engendrer de l'orniérage par fluage des couches de surface bitumineuses. Les autres facteurs extérieurs pouvant intervenir de façon concomitante sur ce mécanisme sont : une température durablement élevée (période de canicule), une vitesse de sollicitation lente (rampe) ou une zone de fort cisaillement (virage, présence de feux ou stop).

- Le trafic exerce également une augmentation de pression dans les fissures où l'eau s'est infiltrée. Par suite, cette eau sous pression attaque les éventuels points faibles des matériaux et de la structure, à savoir décolle les interfaces entre couches, entraîne les fines produites par l'attrition (au niveau de la fissure ou des interfaces), déchausse les granulats.



Figure IV.9 : Facteur du poids lourd Dans les dégradations des chaussées



Figure IV.10 : Facteur de variation de température dans la dégradation des chaussées

Deuxième facteur extérieur, les conditions climatiques influent sur le comportement des structures, de façon directe ou induite :

- la pluviométrie influe sur la teneur en eau des sols support et sur leur portance, sur la rigidité des matériaux non traités et sur la dégradation des discontinuités de la structure (fissures, interfaces). L'influence de ce facteur est amplifiée par le profil de la route (remblai, déblai), la nature et la largeur des accotements, l'état du dispositif de drainage et l'état de surface de la chaussée (déjà dégradé ou intact) ;

- les températures estivales augmentent la sensibilité à l'orniérage ou au ressuage des couches de surface ;

- les températures hivernales augmentent la fragilité des couches bitumineuses et les sollicitations au voisinage des discontinuités dans les structures rigides et à assise traitée aux liants hydrauliques ;
- les variations journalières de température influent sur le fonctionnement des structures, notamment en modifiant la cambrure des dalles rigides et leur mode de fonctionnement, ainsi que sur la susceptibilité des matériaux bitumineux dans le cas où une trop grande amplitude journalière de température fragilise le matériau à basse température (pas d'accommodation possible) **(Figure IV.10)** ;
- les variations saisonnières de température influente elles-aussi sur le fonctionnement de la structure, en agissant sur la rigidité des matériaux pour les structures à couches bitumineuses et sur les conditions d'engrènement pour les structures à couches traitées aux liants hydrauliques ;
- l'ensoleillement et l'exposition aux intempéries provoquent un vieillissement des matériaux, qui se traduit par un durcissement des liants bitumineux et une fragilisation des liaisons granulats/liants ;
- le gel peut, lorsqu'il est intense, provoquer le soulèvement de la structure (principalement si ses couches non traitées sont gorgées d'eau) et une dégradation de certains matériaux après de nombreux cycles de gel (phénomène qualifié de « gélifraction ») ;
- le dégel, plus dommageable, induit une dégradation accélérée de la structure par chute de portance du sol support, conséquente de l'augmentation de la teneur en eau constatée au gel (cas des sols fins, des craies …) ;
- des périodes de grande sécheresse entraînent la dessiccation des sols (surtout ceux présentant des indices de plasticité élevés) et l'apparition de fissures de retrait en surface des chaussées.

III.6.2 Facteurs liés à la structure :

L'épaisseur de la structure est déterminée afin que la chaussée assure la circulation d'un trafic poids lourds sur un sol support donné pendant une certaine durée. Des travaux réalisés selon les règles de l'art intègrent des variations « usuelles » d'épaisseur qui sont prises en compte dans le calcul de l'épaisseur nominale. Toute sous-épaisseur, ponctuelle ou étendue, induit dès l'origine un excès de sollicitation dans la zone sous-dimensionnée, qui se traduit, à plus ou moins long terme, par l'apparition prématurée de fissures ou de faïençage. Ces sous-épaisseurs sont d'autant plus dommageables que le matériau est rigide.

Les cas les plus fréquents de sous-épaisseurs se rencontrent en traverse d'agglomération, sur giratoire, ou sur plate-forme mal nivelée.

Les conditions de collage entre couches sont également déterminantes vis-à-vis de la durabilité des structures. Celles-ci sont calculées en adoptant des hypothèses de collage représentatives des conditions habituellement rencontrées : par exemple, les couches bitumineuses sont supposées collées sur leur support. Tout défaut de collage entre deux couches supposées solidaires conduit à une sollicitation excessive de chacune des couches de la structure, et donc à leur ruine prématurée **(Figure IV.11).** Il n'est pas rare, sur chaussées souples et bitumineuses épaisses sous fort trafic, de rencontrer des fissures longitudinales voire du faïençage dans les bandes de roulement et de mettre en évidence le décollement de la seule couche de surface par carottage.

Un défaut d'accrochage peut résulter de l'absence ou d'un mauvais dosage de la couche d'accrochage, de conditions météorologiques défavorables lors de la mise en œuvre (averses) ou de la présence d'une pollution sur la couche sous-jacente avant mise en œuvre.

Les structures rigides et à assise traitée aux liants hydrauliques génèrent quelques jours à quelques mois après leur mise en œuvre des fissures par retrait hydraulique des matériaux traités. Ces fissures ou joints doivent être étanchés et entretenus périodiquement, afin que l'eau ne pénètre dans la structure et n'altère les conditions d'engrènement et d'interface, sous l'effet conjugué du trafic lourd.



Figure IV.11 : décollement de la couche de surface



Figure IV.12 : Élargissement d'une chaussée

Les travaux de type élargissements constituent souvent des points faibles de la structure (**Figure IV.12**). Des comportements différentiels entre ancienne chaussée et élargissement peuvent être observés, résultant :

Des matériaux utilisés pour ces élargissements qui ne sont pas nécessairement de même nature que ceux du corps de chaussée ;

Du sol support remanié lors des terrassements des élargissements ;

Des difficultés de mise en œuvre en faible largeur.

Le joint entre élargissement et chaussée ancienne, réalisé à froid, a tendance à s'ouvrir rapidement, puis à s'épaufrer, d'autant plus qu'il est placé en bande de roulement et que des dispositions constructives de type redans n'ont pas été adoptées lors des travaux.

Les tranchées réalisées dans les chaussées pour les interventions sur réseaux enterrés causent les mêmes types de désordres que les élargissements.

III.6.3 Facteurs liés aux matériaux :

a. Tous matériaux :

La rigidité d'un matériau de chaussée dépend de son taux de compactage. Tous les matériaux requièrent un niveau de compactage minimal, garantissant une rigidité et un comportement en fatigue. Tout défaut de compactage affecte la rigidité du matériau, et par suite suscite une augmentation de la sollicitation induite au passage des charges lourdes. La durée de vie de la chaussée s'en voit réduite. Outre les facteurs extérieurs cités au § 2.1, un matériau non adapté au trafic (squelette non optimisé, teneur en liant ou en sable trop élevée, susceptibilité thermique du liant bitumineux trop forte) peut également être un facteur à l'origine de l'orniérage des chaussées.

b. Matériaux non traités :

Une teneur en eau trop élevée altère les performances mécaniques des matériaux non traités, aussi bien en rigidité qu'en résistance à la déformation permanente.

Cette teneur en eau augmente lorsque les couches supérieures ne sont plus imperméables (parce que fortement fissurées par exemple), qu'une alimentation en eau peut se faire par un terre-plein central ou que le dispositif de drainage ne fonctionne pas (problème d'altimétrie, de colmatage des exutoires …).

La teneur en fines et la propreté de ces fines (valeur de bleu de méthylène ou MB) sont également des facteurs déterminants, en ce sens que des valeurs élevées de ces caractéristiques contribuent à la rétention d'eau libre et adsorbée et au mouvement d'eau libre (par capillarité), rendant de ce fait le matériau sensible au gel. Cette sensibilité conduit généralement à une fissuration des couches supérieures et à l'orniérage.

c. Matériaux bitumineux :

La teneur en liant, dont l'optimum a été déterminé lors de l'étude de formulation du mélange, est également un facteur déterminant.

- Un sous dosage conduit à :

- une réduction des performances en fatigue (donc à une moindre durabilité des matériaux) ;
- une moindre maniabilité du mélange (donc à une plus grande difficulté à atteindre la compacité requise) ;
- une plus grande sensibilité à l'eau (décohésionnement de la liaison liant/granulats) ;

dans une moindre mesure, une perte de rigidité du mélange.

- Un surdosage en liant a peu de conséquence pour les couches d'assise, mais est plus pénalisant pour les couches de surface où il conduit à :

- une plus grande sensibilité à l'orniérage et au ressuage ;
- un état de surface plus fermé (donc une moindre macrotexture) défavorable à l'adhérence sur chaussée humide.

Un manque de fines important conduit à une plus grande sensibilité du mélange à l'orniérage.

La surchauffe des mélanges bitumineux à la fabrication en centrale entraîne un vieillissement prématuré du liant et conduit généralement au désenrobage et à la fissuration thermique des couches de surface.

Le sur-compactage des couches de surface induit un risque accru d'orniérage, et un manque de macro - texture.

Le sous-compactage des matériaux bitumineux peut également conduire, en plus d'un affaiblissement des caractéristiques mécaniques (module et fatigue), à un risque d'orniérage par post-compactage.

L'emploi de bitumes durs, qui s'est développé ces dernières années pour améliorer la résistance à l'orniérage des couches de roulement et rigidifier les couches d'assises, conduit généralement à une plus grande sensibilité des matériaux aux basses températures, ce qui peut poser problème dans les zones à forts écarts thermiques. Cela se traduit alors par l'apparition en surface de la chaussée de fissures orientées de façon aléatoire, dans et hors bandes de roulement, initiées par le haut de la couche de roulement. Cette fissuration peut être aggravée dans les bandes de roulement sous l'effet du trafic lourd.

Cette fragilité du matériau bitumineux face aux températures les plus basses peut également se rencontrer pour des couches de surface élaborées à partir d'agrégats d'enrobés (bitume issu du mélange entre le bitume des agrégats et bitume d’apport plutôt dur), ou ayant fait l'objet de thermo-recyclage (thermo reprofilage ou thermo-régénération), pour peu que les études préalables n'aient pas suffisamment anticipé ce phénomène.

d. Matériaux traités aux liants hydrauliques :

Un sous-dosage en liant hydraulique (ou en eau) conduit à une moindre performance du mélange, aussi bien en rigidité qu'en résistance en traction. Cette réduction des performances mécaniques conduit à une réduction importante de la durée de vie.

Un surdosage en liant hydraulique rend le matériau plus rigide et plus résistant à la traction ; mais l'expérience montre que :

- le délai de maniabilité est réduit ;
- la prise hydraulique s'effectue plus rapidement, ce qui a pour conséquence d'augmenter la fissuration de retrait ;
- la rigidité croît plus vite que la résistance en traction, ce qui a pour effet de fragiliser le matériau, de le rendre moins durable et plus sensible aux surcharges.

Le surdosage en eau conduit à une diminution des performances mécaniques, tandis qu'un sous-dosage réduit le délai de maniabilité.

Les conditions de mise en œuvre sont déterminantes sur la durabilité de ces matériaux :

- la dessiccation de la partie supérieure de la couche doit être évitée par mise en œuvre d'une couche de cure ;
- le sur-compactage et/ou l'apport de couche en faible épaisseur peuvent provoquer le feuilletage de la partie supérieure de la couche ;
- les travaux en arrière-saison et en hiver sont à proscrire (risque de gel) ; ils exposent le matériau à un défaut de prise (irréversible dans le cas de liant à base de ciment) ;
- la remise sous circulation peut se faire immédiatement après la fin du compactage, avec pour les trafics supérieurs à 100 PL/j l'ajout dans la formule du matériau traité d'un retardateur de prise pour un délai de 24 heures.

IV.7 Le trafic et les structures de chaussées :

Du point de vue de la mécanique des structures de chaussées, la composante du trafic routier qui exerce une influence prépondérante et qui doit donc être prise en compte est le nombre de Poids lourds en effet ce sont eux qui transportent les charges les plus élevées et qui sont donc les plus **agressifs** pour les structures de chaussées, alors que les voitures particulières n'ont qu'une influence très négligeable et ne sont donc prises en compte.

L'or du dimensionnement des structures de chaussées, On doit d'onc établir un comptage du trafic des poids lourd portant sur deux aspects : **leur nombre et leur nature.** En effet, la classe du trafic Poids lourds est très large, elle va du camion simple à deux essieux au semi-remorque, en passant par les autobus, les tracteurs agricoles, les engins-spéciaux, etc. Il faut d'établir le n'ombre et la nature des essieux susceptibles d'emprunter la chaussée pendant toute sa durée de vie.

IV.8 Dimensionnement des chaussées neuves :

Chaque pays à ses propres catalogues de dimensionnement des chaussées neuves, selon sa propre condition climatique, les matériaux disponibles, et les stratégies économiques du pays, dans ce chapitre en vont traiter les différences entre ces catalogues en point du vue des hypothèses et de la démarche suivi.

Pour bien comprendre la démarche de ces catalogues il faut d'abord connaitre les différentes approches de conception

IV.8.1 L'approche empirique :

Elle est essentiellement **basée sur l'expérience**, Tout d'abord, il faut fixer un critère pour définir la fin de la durée de vie d'une chaussée, par exemple, lorsque les déformations totales de la structure dépassent une valeur admissible. Ensuite, on effectue une observation d'un ensemble de sections de chaussées réelles ou expérimentales selon ce critère. Enfin, par des **méthodes statistiques**, on détermine des relations entre la durée de vie des chaussées et leurs caractéristiques géométriques (épaisseurs des couches), géotechniques et mécaniques (nature et propriétés des matériaux utilisés),

IV.8.2 L'approche rationnelle :

Elle se base essentiellement sur la théorie de **la Mécanique des Milieux Continus**, Il s'agit de concevoir un modèle de chaussée qui reproduise le plus près possible le fonctionnement mécanique de la structure.

II s'agit, en premier lieu, de déterminer les contraintes et les déformations dans la structure de chaussée et le sol-support sous l'effet des chargements représentant le trafic, Dans cette partie, on se base sur les lois de comportement des matériaux, en accord avec le modèle mathématique choisi.

En second lieu, on réalise le dimensionnement de la structure de chaussée en tenant compte des vérifications mécaniques à effectuer. Ces vérifications mécaniques portent essentiellement sur deux aspects :

- une vérification vis-à-vis de la **rupture par fatigue** : la fixation d'une durée de vie déterminée pour une chaussée implique que cette rupture par fatigue ne doit pas se produire avant la fin de cette durée de vie ou, si elle se produit dans une couche donnée, elle ne doit pas être visible en surface jusqu'à l'expiration de cette durée de vie;
- une vérification vis-à-vis des **déformations permanentes**: on doit veiller à ce que les déformations permanentes obtenues dans la Structure de chaussée - à cause de la répétition des charges et de la non élasticité parfaite des matériaux soient toujours comprises dans un domaine de déformations admissibles afin d'éviter l'apparition de déformations excessives en surface qui pourraient engendrer des défauts inacceptables, et ce jusqu'à la fin de la durée de vie de la chaussée.

IV.8.3 Comparaison (empirique/ rationnelle) :

	L'approche empirique	L'approche rationnelle
avantages	- l'observation du comportement réel de chaussées existantes	- offrant le support théorique nécessaire - permettre de généralisé le Comportement sur les nouveaux matériaux
inconvénien	- elle est très coûteuse en temps d'observation et en moyens - elle ne permet pas de généraliser les résultats obtenus et les extrapolations sont assez hasardeuses.	- Donne des résultats assez éloignés de la réalité. - les modèles complexes sont assez délicats à manipuler

Le meilleur moyen de résoudre un problème de dimensionnement des Structures de chaussées serait sans doute de considérer les deux aspects de la théorie et de l'expérience en essayant de les concilier dans la mesure du passible au moyen du calage des résultats théoriques à partir d'observations effectuées sur des cas réels.

IV.8.4 Quelque méthode de dimensionnement :

- Méthode **CBR** (CALIFORNIAN BEARING RATIO).
- Catalogue American développé de L'essai **AASHTO** (AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS)
- Catalogue Algérien De Dimensionnement Des Chausses Neuves **(CTTP 2001**).
- Catalogue des Structures Type de Chaussées Neuves (1998 SETRA/LCPC)
- Méthode de l'indice de groupe**. (Ig)**
- Méthode du «manuel de conception des chaussées neuves à faible trafic (SETRA-LCPC France)

IV.9. Calcul de projet (autoroute Chiffa - Berrouaghia) :

1. Base et référence d'étude :

a. Catalogue des Structures Type de Chaussées Neuves (1998 SETRA/LCPC);
b. Conception et Dimensionnement des Structures de Chaussée (1994 SETRA/LCPC)".
c. Catalogue de Dimensionnement des Chaussées Neuves CTTP 2001).
d. Guide technique-Construction des chaussées neuves sur le réseau routier national-Spécifications des variantes (2003 SETRA).
e. Assises de chaussées-Guide d'application des normes pour le réseau routier national (1998 SETRA/LCPC);
f. Catalogue de dimensionnement des Chaussées Neuves (2001 CTTP);
g. Couches de roulement et couches de liaison : Bétons bitumineux minces Chaussées (NF P 98-132 Juin 2000) ;
a. Couches d'assises : enrobés à module élevé (EME) (NF P 98-140 Novembre 1999) ;
b. Couches de roulement et couches de liaison : bétons bitumineux à module élevé (BBME) (NF P 98-141 Novembre 1999) ;

2. La plate-forme (couche PST)

2.1. Choix de matériaux de la PST :

Les matériaux utilisables pour la PST sont des matériaux ci-dessous correspondant à la Classification de GTR :

- B2, B4, B5;
- C1A2, C1A3;
- C1B1, C1B2, C1B3, C1B4, C1B5, C1B6;
- C2B1, C2B2, C2B3, C2B4, C2B5;
- Matériaux de classe D en général.

Selon le CCTP, la taille de grains maximale de ces matériaux utilisés pour la PST ne doivent pas être supérieure à **30cm.**

2.2. Détermination de l'épaisseur de la PST

(a) Section en remblai :

L'épaisseur de la PST de la section en remblai est de **1m** avec les matériaux définis à l'article 2.1

(b) Section en déblai :

La condition de substitution de l'assiette de la route en déblai doit être déterminée par l'excavation réelle, pour les sections en déblai, il faut excaver jusqu'au fond de CDF, faire l'essai d'identification GTR pour le sol au-dessus de base de couche de forme afin de savoir si la qualité des sols de cette

couche satisfait aux exigences pour matériaux de PST ; et puis détecter la valeur EV2 sur site, pour déterminer l'épaisseur de substitution. Les principes concrets sont comme suit :

a) Pour les sections en déblai où la nature du sol support appartient à A1, A2, A3, A4, B6 au niveau de la PST ou en roche meuble totalement ou fortement altérée, on procédera à une purge et une substitution de 1m d'épaisseur en matériaux définis au paragraphe 2.1.

b) Pour les sections en déblai où le sol support correspond aux matériaux définis au paragraphe 2.1 ou en roche meuble peu ou légèrement altérée ou en roche dure totalement ou fortement altérée, l'épaisseur de la PST sera définie d'après la valeur de EV2 mesurée sur place comme indiqué ci-dessous :

- En cas de EV2<30MPa, on procédera à une purge et une substitution de 1m d'épaisseur pour la couche de PST ; en cas de 30MPa≤EV2<50MPa, on procédera à une purge et une substitution de 0,5m d'épaisseur ; en cas de EV2≥50MPa, la PST peut être supprimée.
- Pour les sections en déblai où le sol support est de la roche peu ou légèrement altéré, mais sensible à l'eau comme les roches schisteuses, les argilites, les marnes, etc., la substitution sera faite sur une épaisseur de 50cm avec des matériaux conformes au GTR.

c) Pour les sections en déblai où le sol support est de roche en masse dure, peu ou légèrement altérée, une couche de 50cm d'épaisseur sous la couche de forme sera minée à l'explosif et servira de la couche de réglage.

2.3 Classification de la PST et classe de l'arase :

Le contrôle de compactage est réalisé conformément à la norme NFP 94-117-1 (modules **EV1** et **EV2**) par mesure du module de déformation ou de la densité sèche au **gamma densimètre**.

Le dispositif d'assainissement longitudinal disposé dans la plate-forme de la section courante et des bretelles est bien complet, dont PST et AR classifient respectivement PST N°3 et AR2 ;

SOLS NATURELS SUPPORTS				État hydriques du sol	PST n° i	Classe d'ARase AR j	Portance du sol Ps exprimée en MPa	Commentaire
Sols fins	Sols sableux et graveleux avec fines	Sols comportant des fines et des gros éléments	Sols insensibles à l'eau					
A1 ; A2 A3 ; A4	B2 ; B4 ; B5 ; B6	C1	/	th	PST n° 0	AR 0	Ps < 20	Mise en œuvre d'une opération de purge / substitution et/ou de drainage, pour opérer un reclassement de l'arase en AR1
A1 ; A2 A3 ; A4	B2 ; B4 ; B5 ; B6	C1 ; C2	/	h	PST n° 1	AR 1	20 ≤ Ps < 50	Deux démarches possibles pour passer à une classe d'arase supérieure : - soit un traitement à la chaux, - soit mettre en œuvre une couche de forme en matériau granulaire en intercalant un géotextile anti contaminant
A1 ; A2 A3 ; A4	B2 ; B4 ; B5 ; B6	C1 ; C2	/	m	PST n° 2	AR 1	20 ≤ Ps< 50	Réalisation d'un rabattement de nappe à une profondeur suffisante si possible, on est alors ramené au cas de la PST n° 3 - la couche de forme est indispensable
A1 ; A2 A3 ; A4	B2 ; B4 ; B5 ; B6	C1 ; C2	/	m	PST n° 3	AR 1	20 ≤ Ps < 50	- Pas de mesure de drainage, - La couche de forme est indispensable **AR1**
						AR 2	50 ≤ Ps < 120	Classement en AR2 si on effectue des dispositions de drainage pour l'évacuation des eaux à la base de la chaussée afin d'éviter leur infiltration **AR2**
A1 ; A2 A3 ; A4	B2 ; B4 ; B5 ; B6	C1	/	h	PST n° 4	AR 2	50 ≤ Ps < 120	Traitement durable des matériaux de la PST n° 1 à la chaux et/ou aux liants hydrauliques. Possibilités en fonction du projet de réaliser une couche de forme.
/	B1	/	D1	/	PST n° 5	AR 2	50 ≤ Ps < 120	Matériaux sableux insensibles à l'eau. Ces valeurs de portance à long terme peuvent être assimilées aux valeurs mesurées à court terme (AR3) La nécessité d'une couche de forme sur cette PST ne s'impose pas.
						AR 3	120 ≤ Ps < 200	
/	B3	C2	D2 ; D3	/	PST n° 6	AR 3	120 ≤ Ps < 200	Matériaux insensibles à l'eau (mêmes remarques que précédemment)
						AR 4	Ps > 200	

Tableau IV.1 *:* Tableau de synthèse des correspondances entre la classe géotechnique du sol, son état hydrique et la classe de la partie supérieur des terrassement (PST n°i) associer a la classe (ARj).

3. Couche de forme :

La classification PST du projet est PST N°3 peut satisfaire aux exigences réglementaires

Les matériaux de la couche de forme doit être conforme aux exigences du CCTP et de l'annexe 3Volume II GTR.

3.1. Épaisseur de la couche de forme :

Selon GTR, la classe PF utilisée pour l'Autoroute du présent projet est de **PF3**, la portance du niveau de PF3 est de **120MPa**, l'épaisseur de la couche de forme est de **50cm**.

3.2. Exigences pour les matériaux de classe PF3 :

La plate-forme de chaussée dont la classe est PF3, doit être associée au moins avec PST N°3. Les matériaux naturels pouvant être utilisés comme matériaux de la couche de forme sont ceux avec le classement **GTR : B31，C1B11，C1B31，C2B11，C2B31，D21，D31，R21， R41**

3.3. Principe dans le choix de matériaux de la couche de forme :

Les matériaux de la couche de forme doit utiliser la GNT (grave non traité) dont le fuseau granulaire est（0/31.5）qui répond à la spécification de la norme de granularité NF P98-129 et le caractéristique minimal des matériaux selon la norme XP P18-545.

3.4. Exigences techniques sur la compacité et la résistance :

Classe de PF	Densité sèche γd		Essai de plaque	(Déflexion)
	γd_{moy}	γd_{fc}	**EV2**	(1/100 mm)
PF2	≥ 98.5% γd_{OP}	≥ 96% γd_{OP}	≥ 50 MPa	≤ 200
PF3	≥ 98.5% γd_{OP}	≥ 96% γd_{OP}	≥ 120 MPa	≤ 90

Tableau IV.2. Paramètres de contrôle du compactage de la couche de forme

NOTE : γd_{moy} : densité sèche moyenne sur l'ensemble de la couche.

γd_{fc} : densité sèche en fond de couche (8 cm inférieurs).

QUELLE PLATE-FORME…AVEC QUELLE EPAISSEUR DE LA COUCHE DE FORME CONSTITUEE EN GRAVE NATURELLE (GN) :

*Graves alluvionnaires propres **GN** (**D21** et **D31** après calibrage)*

ARASE DE TERRASSEMENT	PLATE-FORME SUPPORT DES TERRASSEMENTS		CLASSE DE PLATE-FORME VISEE			
			PF1 +	PF2*	PF2 +	PF3
AR1 20 à 50 MPa	PST n° 1	Matériaux sensibles - Mauvaise portance à court et à long terme	40cm ou géotextile + 25cm	70cm ou géotextile + 50cm	90cm ou géotextile + 70cm	
	PST n° 2	Matériaux sensibles - Bonne portance à court terme et mauvaise portance à long terme	30cm ou géotextile + 20cm	50cm ou géotextile + 40cm	60cm ou géotextile + 50cm	80cm ou géotextile + 65cm
	PST n° 3	Matériaux sensibles - Bonne portance à court terme. Portance à long terme hypothéquée par une sensibilité aux venues d'eaux pluviales	20cm	30cm ou géotextile + 20cm	50cm ou géotextile + 40cm	80cm ou géotextile + 65cm
AR2 50 à 120 MPa				Couche de fin réglage	30cm	50cm
	PST n°4	Matériaux traités à la chaux ou aux liants hydrauliques **(1)**			30cm	50cm
	PST n° 5	Plate-forme de bonne portance posant des problèmes de traficabilité				Couche de fin réglage
AR2 50 à 120 MPa	PST n° 6	Plate-forme de bonne portance posant des problèmes de traficabilité et/ou de réglage				

Tableau IV.3 Épaisseur de la couche de forme.

4. Couches d'assises plus couches de surface :

4.1. Méthodologie :

Le dimensionnement des structures chaussées est réalisé avec le « Catalogue des Structures Type de Chaussées Neuves (1998 SETRA/LCPC)» en première approche, et sera vérifié et défini par des calculs à l'aide du logiciel professionnel Alizé développé par la société française LCPC.

4.2. Objets du calcul :

Les structures de chaussées en béton bitumeux doivent être justifiées par des calculs de dimensionnement pour résoudre les problèmes suivants :

- Rupture de la couche de base bitumineuse par fatigue ;
- Déformation de la couche de forme.

Les calculs de dimensionnement doivent satisfaire les conditions suivantes :

- La déformation horizontale à la traction de la couche de base bitumineuse et de la couche de fondation **εt,ad** doit être inférieure à la valeur limite admissible ;
- La déformation verticale à la compression de la couche d'assise et en surface de la couche de forme **εz,ad** doit être inférieure à la valeur limite admissible.

4.3. Données de base :

4.3.1. Volumes de trafic :

Le calcul du trafic présenté dans le rapport de chaussée du présent projet s'est basé sur « Etude de Dédoublement de la RN 01 entre Chiffa et Boughzoul sur 125 km - Etude Préliminaire Annexe 2. Etude de Trafic ».

Ce projet est une partie importante de l'autoroute Nord-Sud, est de type d'un réseau routier structurant(VRS). La conception dimensionnel de structure de chaussée est faire la durée conformément à 30 ans pour réseau routier structurant.

En fonction de« Etude de Dédoublement de la RN 01 entre Chiffa et Boughzoul sur 125 km - Etude Préliminaire, étude de Trafic », la proportion de poids lourds de ce projet est de18%, les résultats analyse de trafic du projet sont présentés dans **le tableau IV.4**

Année particulière	LA CHIFFA-BARROUAGHIA			
	TMJA	Proportion PL (%)	Nombre de PL/ unidirectionnel	Taux 'accroissement (%)
2016	**32449**	**18**	**2920**	**5.635**
2018	**36209**	**18**	**3259**	
2021	**42685**	**18**	**3841**	**6.280**
2026	**57871**	**18**	**5209**	**5.000**
2047	**161240**	**18**	**14512**	

Tableau IV.4. Prévision Quantitative de charge PL

4.3.2 La charge accumulée au cours de 2018～2047 du projet

Nous appliquant **25 ans** comme durée de service du projet, **(exigence par le maitre de l'ouvrage)** .

Le nombre des poids lourd dans les 25 ans de la mise en services et déterminé par la formule suivante :

$$N=365xN_0x\frac{(1+i)^n-1}{i}$$

Dont :

- N : trafic des PL par voie pendant la durée de service ;
- N0 : TMJA des PL par voie à l'année initiale de la mise en service (dans notre cas en prend l'année de la mise en service **2018**) ;
- i : taux de croissance annuel du trafic ;
- n : duré de vie de la chaussé expliqué par le nombre des années,(30ans dans le réseau VRS) ;dans notre cas 25ans.

Suite au calcul, le trafic cumulé de PL de voie unique par sens dans la durée de service est comme suit dans le **tableau IV.5.**

Section / Trafic	2018~2020 Nombre de PL	2020 ~ 2024 Nombre de PL	2025~2046 Nombre de PL	Nombre total de PL dans la durée de service
LA CHIFFA-BARROUAGHIA	3 018 606	6 358 413	5 8565 672	**67.94×10^6**

Tableau IV.5. Nombre de PL

4.3.3. Coefficient d'agression moyenne des PL (CAM) :

Les valeurs des coefficients CAM des PL sont présentées dans **le tableau IV.6 :**

Couche de structure	CAM	Explication
Couche de forme	1	Calculer la déformation à la compression en fibre supérieure de la CDF
Couche bitumineuse	0.8	Calculer la déformation à la traction en fibre inférieure de la couche bitumineuse

Tableau IV.6 Valeurs CAM par couche de structure

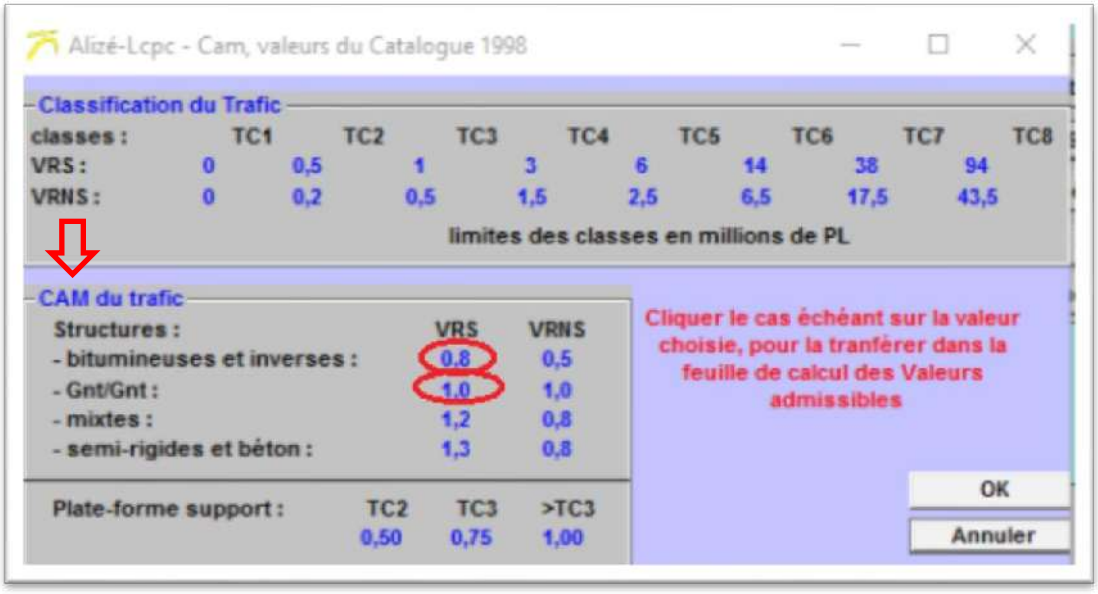


Figure IV.13. Valeurs CAM sur le logiciel alizé

4.3.4. Calcul du nombre équivalent d'essieux cumulé :

Le nombre équivalent d'essieux cumulé est calculé selon la formule suivante :

$$Ne = N \times CAM$$

Dont : **Ne** = Nombre équivalent cumulé ;

N = Trafic des PL par voie pendant la durée de service ;

CAM = Coefficient d'agression moyenne des PL.

Les résultats de calcul des nombres équivalents d'essieux cumulés pour les couches de structure sont présentés dans **le tableau IV.7.**

Section	Couche	CAM	Ne
LA CHIFFA-BARROUAGHIA	CDF	1	67.94×10^6
	Couche bitumineuse	0.8	54.35×10^6

Tableau IV.7 : Résultats des nombres équivalents d'essieux cumulés

4.3.5. Classification de trafic :

Conformément à la Catalogue des Structures Type de Chaussées Neuves （1998 SETRA/LCPC）, le trafic est classé en TC7.

Classe	TC2	TC3	TC4	TC5	TC6	TC7	TC8
N ($\times10^6$)	1.0	3.0	6.0	14.0	38.0	94.0	

Tableau IV.8. Définition des classes de trafic

4.3.6 Risque de calcul :

VRS	TC2	TC3	TC4	TC5	TC6	TC7	TC8
Risque r(%)	30	18	10	5	2	**1**	1

Tableau IV.9. Risque de calcul

En se référant au Catalogue des Structures Type de Chaussées Neuves (1998 SETRA/LCPC) ,

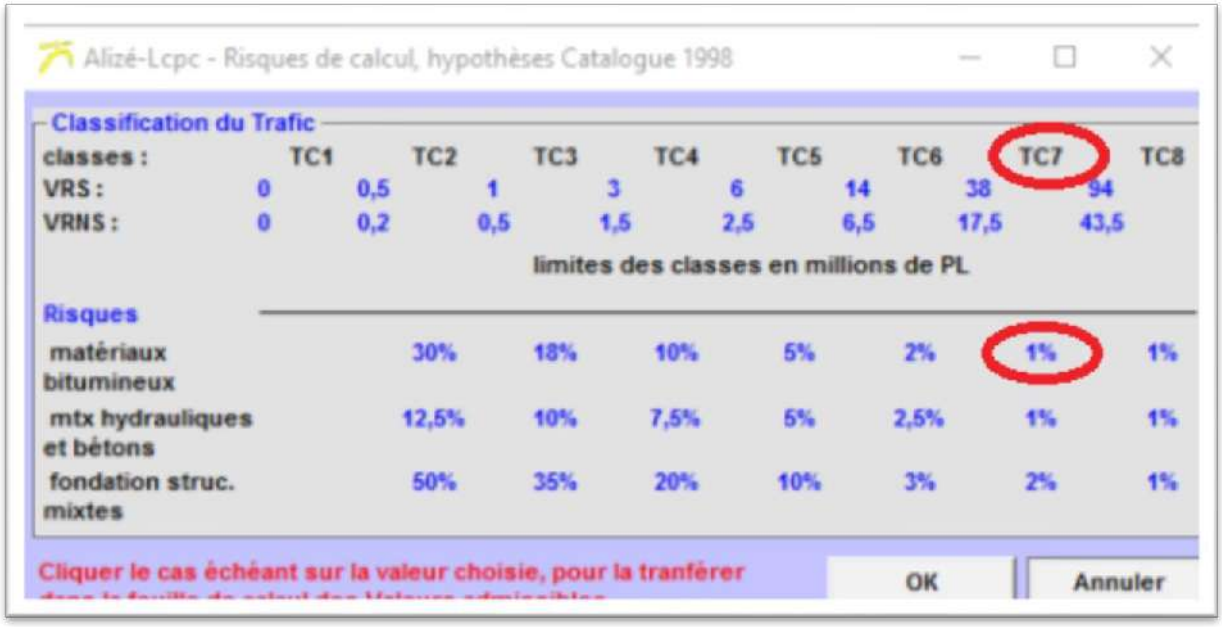


Figure IV.14. Valeur De Risque Sur Le Logiciel

Selon le **tableau IV.9** on prend **r = 1%** pour la présente section.

A. Conception de structure de chaussée (cas enrobé a module élevée) :

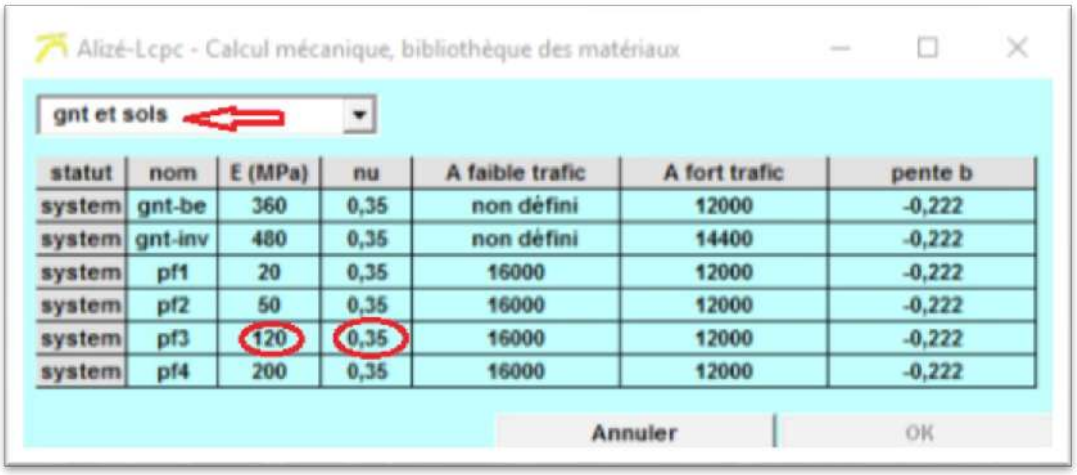
A.1. Couches de surface :

Conformément à Catalogue des Structures Type de Chaussées Neuves （1998 SETRA/LCPC）, la couche de surface en béton bitumineux comprend **3.5cm BBMA3** comme couche de liaison **+ 6cm BBME1** comme couche de roulement, d'une épaisseur totale de **9.5cm** ; la couche d'assise est en EME2, dont l'épaisseur est à fixer d'après le calcul.

A.2. Classe de la plate-forme :

La plate-forme de chaussée est classée en PF3 ; et pour les paramètres, on prend :

E=120MPa v=0.35.



statut	nom	E (MPa)	nu	A faible trafic	A fort trafic	pente b
system	gnt-be	360	0,35	non défini	12000	-0,222
system	gnt-inv	480	0,35	non défini	14400	-0,222
system	pf1	20	0,35	16000	12000	-0,222
system	pf2	50	0,35	16000	12000	-0,222
system	pf3	120	0,35	16000	12000	-0,222
system	pf4	200	0,35	16000	12000	-0,222

Figure IV.15 Valeur de module et **coeff de poison** du sol support

A.3. Paramètres des enrobés retenus dans le calcul :

Le dimensionnement des structures de chaussée s'effectue avec une température consistante, c'est à dire la température équivalente **θeq**, en tenant compte de cycle de variation de température de chaque année. La température équivalente est généralement déterminée selon le zonage climatique du site. D'après le Catalogue de dimensionnement des Chaussées Neuves（2001 CTTP）, le site du projet est classé en **Zone I**.

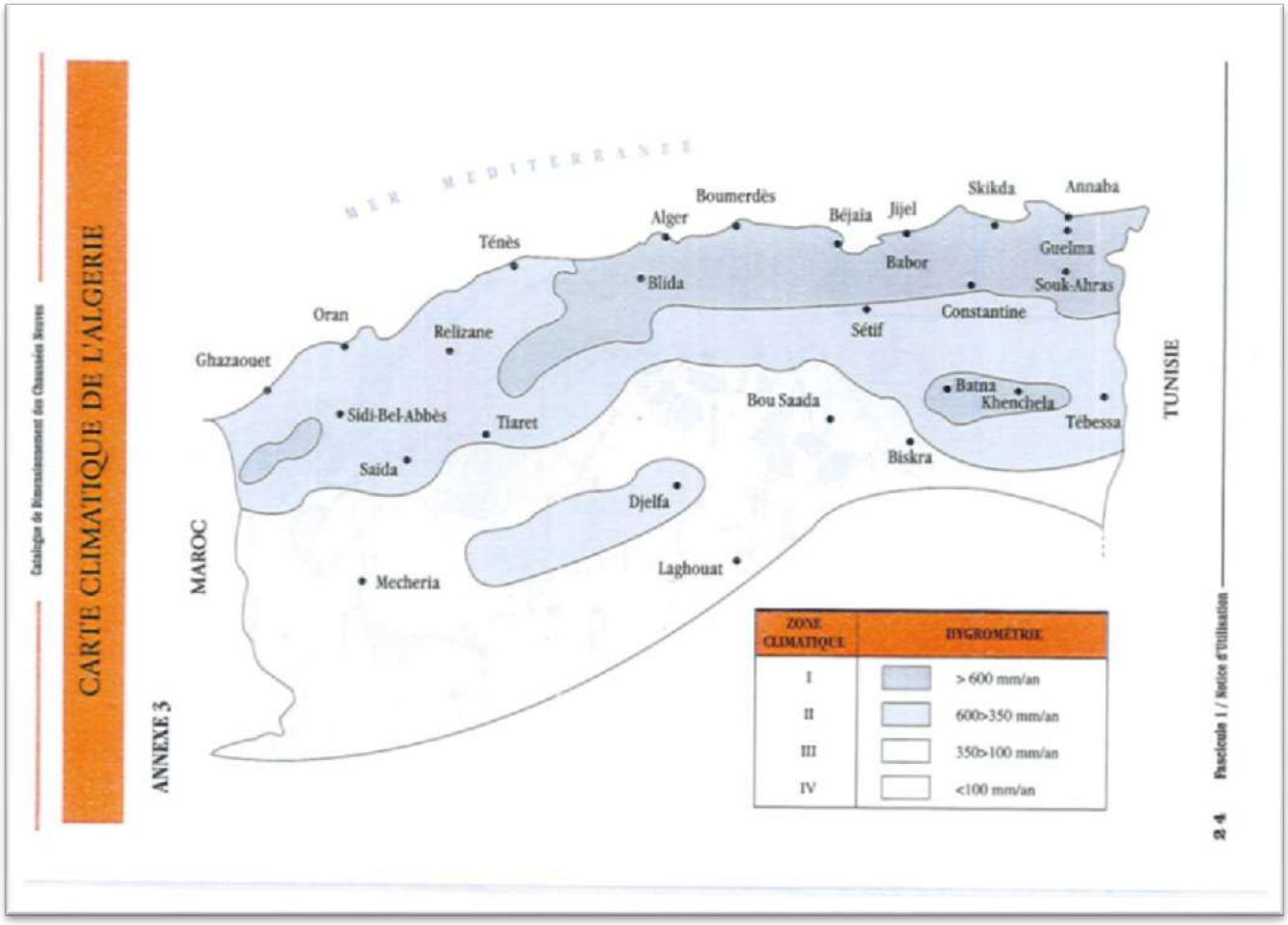


Figure IV.16 Carte climatique de l'Algérie (Fascicule CCTP 2001).

Zone climatique	Pluviométrie (mm/an)	Climat	Région
I	> 600	très humide	Nord
II	350 - 600	humide	Nord, Hauts-plateaux
III	100 - 350	semi - aride	Hauts-plateaux
IV	< 100	aride	Sud

Tableau IV.10. Zones climatique de pluviométrie (Fascicule CCTP 2001).

	Zone climatique		
Température équivalente θ_{eq} (C°)	I et II	III	IV
	20°	25°	30°

Tableau IV.11. Choix de la température équivalente (Fascicule CCTP 2001).

D'après le zonage climatique, on prend la température équivalente égale à **20°C** pour le projet.

Par l'intermédiaire du Logiciel Alizé de LCPC, on obtient les valeurs paramétriques de calcul pour l'enrobé bitumineux, qui figurent dans le **tableau IV.12.**

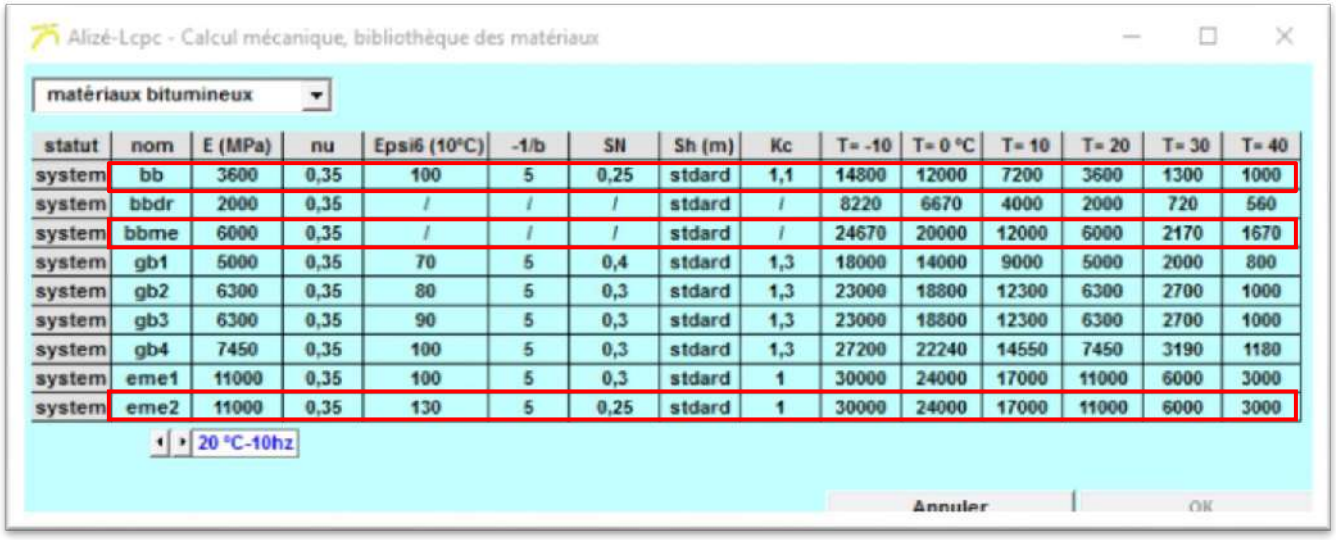


Figure IV.17 Valeurs paramétriques des enrobés bitumineux dans le logiciel Alizé

Type de matériaux	E(20°C,10Hz) (MPa)	ε_6(10°C,25Hz)	b	SN	k_c
BBMA 3	3600	100×10^{-6}	-0.2	0.25	1.1
BBME 1	6000	110×10^{-6}	-0.2	0.25	1.1
EME 2	11000	130×10^{-6}	-0.2	0.25	1.0

Tableau IV.12 Valeurs paramétriques retenues pour le calcul des enrobés bitumineux

Coefficient de Poisson de l'enrobé bitumineux ***v =0.35***

A.4. Valeurs limites admissibles :

Étant donné que la plate-forme est classée en ***PF3*** et que la couche de base en ***EME2***, on cherche la Déformation verticale à la compression $\varepsilon_{z,ad}$ à la base de la couche de forme

A.4.1 couche de forme $\varepsilon_{z,ad}$:

$\varepsilon_{z,ad} = 0.012\ (NE)^{-0.222}$

Coefficient d'agressivité moyenne du poids lourds est CAM = **1.0**
Nombre équivalent cumulé d'essieux :
NE = N×CAM= 67.94×10^6

$\varepsilon_{z,ad} = 0.012\ (NE)^{-0.222}$ = **$\underline{219.0\times10^{-6}}$**

A.4.2 Déformation horizontale à la traction $\varepsilon_{t,ad}$ a la base des couches d'assise (EME) :

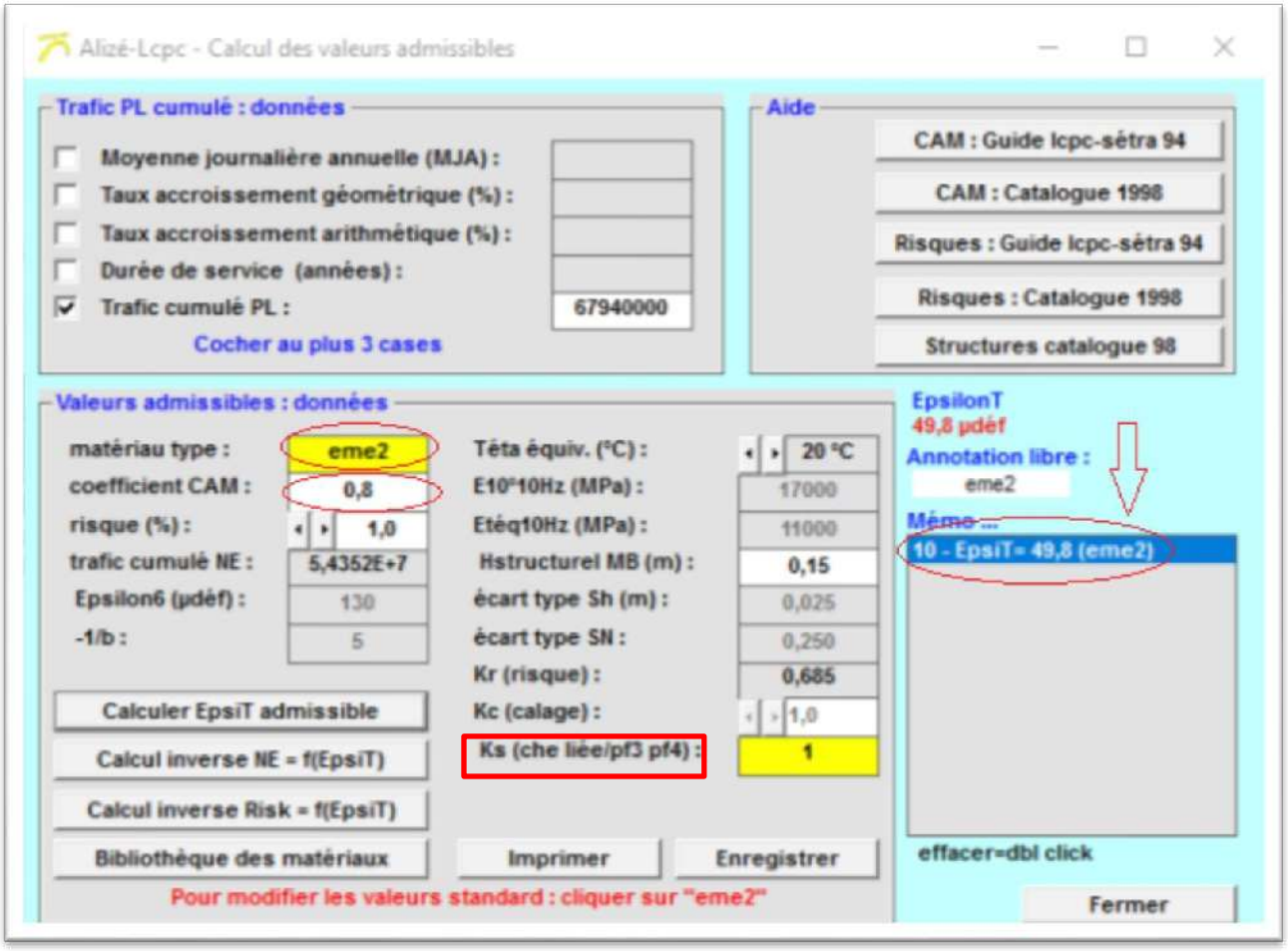


Figure IV.18 Calcul de déformation à la traction admissible

Lorsque la plate-forme est en **PF3** et que la couche d'assise en **EME2**, les valeurs limites admissibles sont résumées dans **le tableau IV.13.**

LA CHIFFA- BARROUAGHIA		
Épais de la couche d'assise (cm)	Couche d'assise (CB, CF) $\varepsilon_{t,ad}$	Couche de forme $\varepsilon_{z,ad}$
H≥15cm	**$49.8x10^{-6}$**	**$219.0x10^{-6}$**

Tableau IV.13 Valeurs limites admissibles

A.5. Calcul des contraints et des déformations :

Il est mis en place toujours une couche d'accrochage ou une couche d'imprégnation entre couche de roulement et couche d'assise. Il faut calculer la déformation horizontale de la couche d'assise, ainsi que la déformation verticale de la couche de forme. Selon le « Catalogue des Structures Type de Chaussées Neuves (1998 SETRA/LCPC)», la couche de roulement en (BBMA+BBME) est d'une épaisseur de **9.5cm**, mais l'épaisseur de la couche EME reste à déterminer. Le calcul est effectué à l'aide du logiciel Alizé,

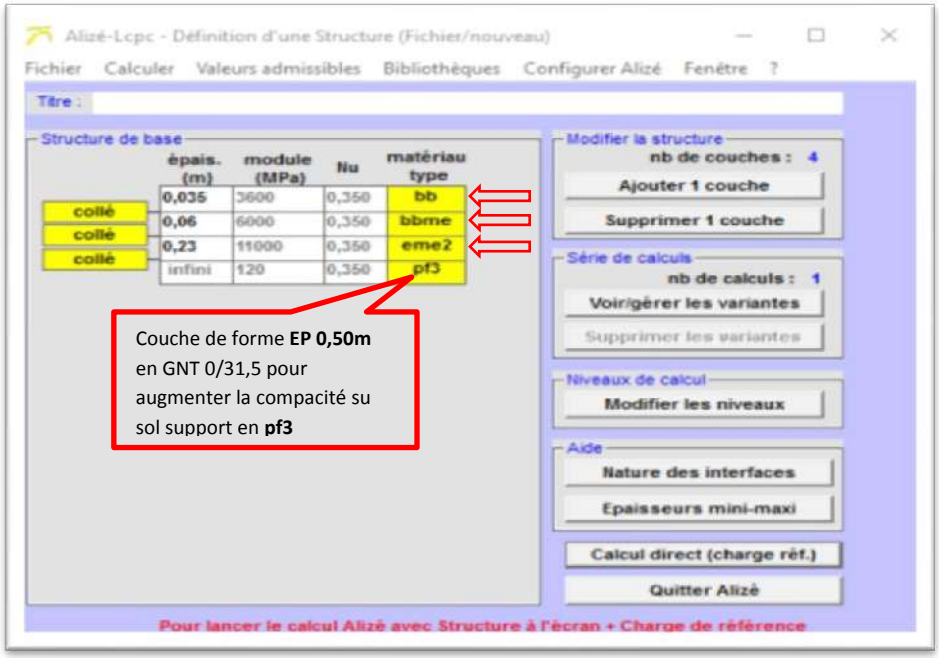
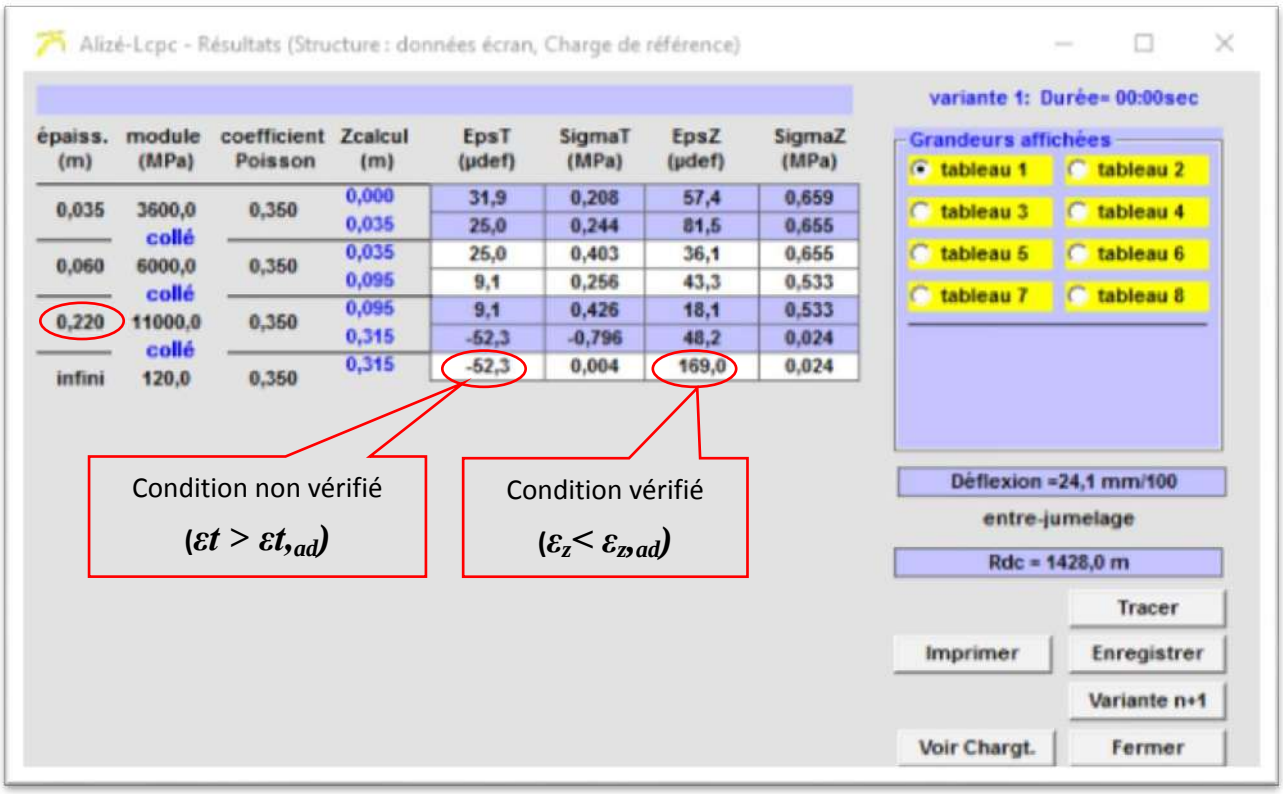


Figure IV.19 Introduction de la structure de chaussé

Après plusieurs itérations arithmétiques d'une d'incrément de **1cm** on obtient

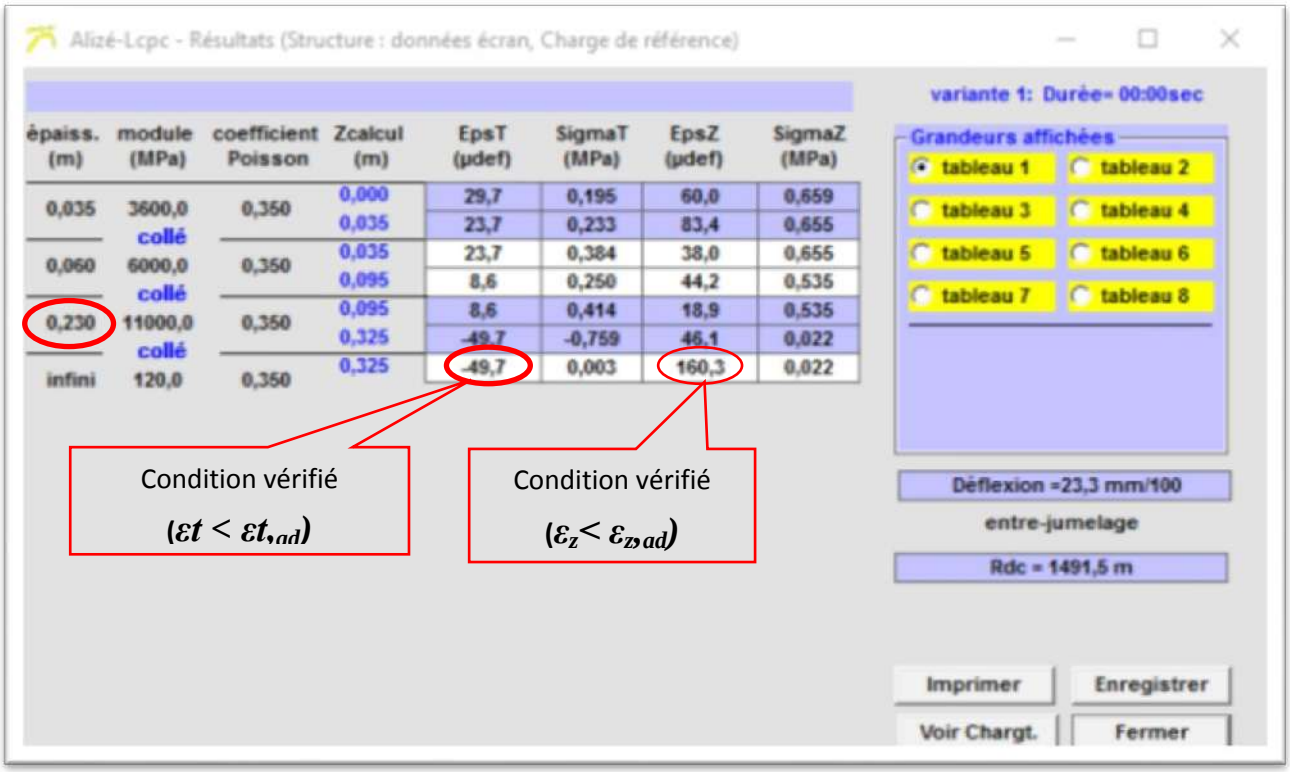


Figure IV.20 Itérations arithmétiques de la couche d'assise



épaiss. (m)	module (MPa)	coefficient Poisson	Zcalcul (m)	EpsT (µdef)	SigmaT (MPa)	EpsZ (µdef)	SigmaZ (MPa)
0,035	3600,0	0,350	0,000	31,9	0,208	57,4	0,659
	collé		0,035	25,0	0,244	81,5	0,655
0,060	6000,0	0,350	0,035	25,0	0,403	36,1	0,655
	collé		0,095	9,1	0,256	43,3	0,533
0,220	11000,0	0,350	0,095	9,1	0,426	18,1	0,533
	collé		0,315	-52,3	-0,796	48,2	0,024
infini	120,0	0,350	0,315	-52,3	0,004	169,0	0,024

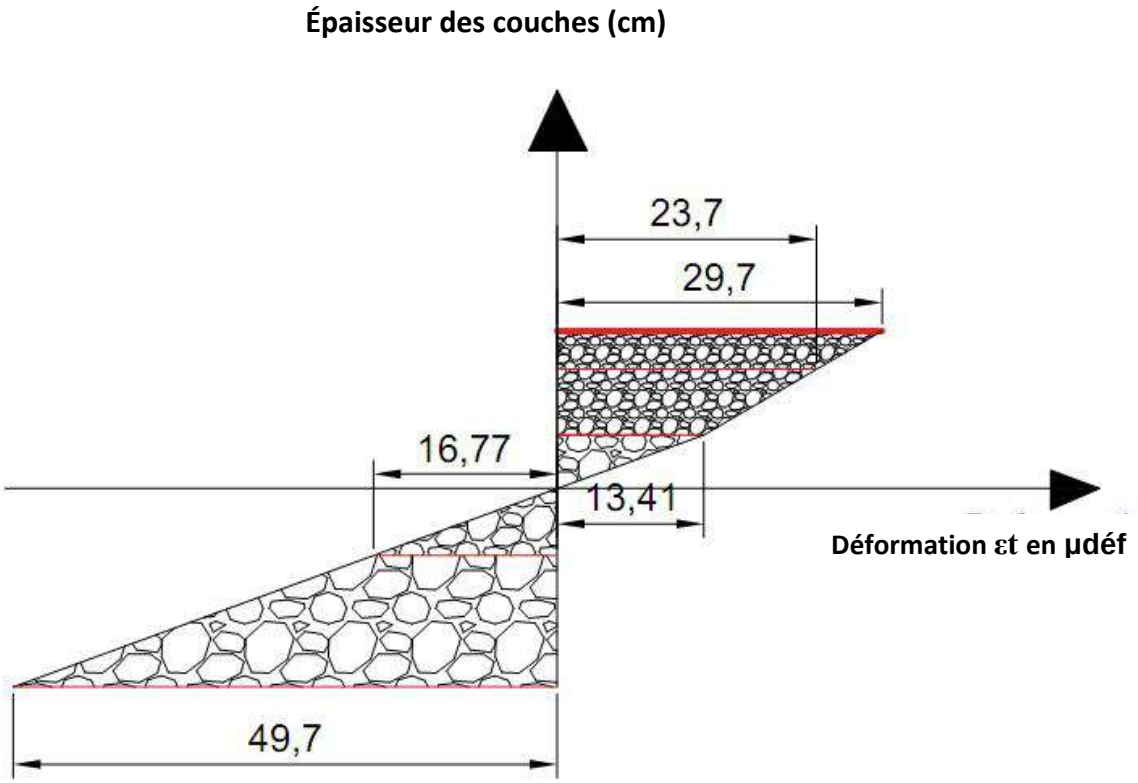
(a) lorsque EME2 d'une épaisseur de 22cm



épaiss. (m)	module (MPa)	coefficient Poisson	Zcalcul (m)	EpsT (µdef)	SigmaT (MPa)	EpsZ (µdef)	SigmaZ (MPa)
0,035	3600,0	0,350	0,000	29,7	0,195	60,0	0,659
	collé		0,035	23,7	0,233	83,4	0,655
0,060	6000,0	0,350	0,035	23,7	0,384	38,0	0,655
	collé		0,095	8,6	0,250	44,2	0,535
0,230	11000,0	0,350	0,095	8,6	0,414	18,9	0,535
	collé		0,325	-49,7	-0,759	46,1	0,022
infini	120,0	0,350	0,325	-49,7	0,003	160,3	0,022

(b) lorsque EME2 d'une épaisseur de 23cm

Figure IV.21 : calculs des contraintes et les déformations.



Déformation εt des différentes couches bitumineuse de la chaussée

Classe de portance	Type de CA	Épaisseur.(cm)	Déformation réelle du fond de la couche EME $\varepsilon_{t,ad}$ ($\times 10^{-6}$)	Déformation réelle du fond de CDF $\varepsilon z,ad$ ($\times 10^{-6}$)
PF3	EME 2	**23(12+11)**	49.7 ($\varepsilon_t < \varepsilon_{t,ad}$)	160.3 ($\varepsilon_z < \varepsilon_{z,ad}$)
		22(12+10)	52.3 ($\varepsilon_t > \varepsilon_{t,ad}$)	169.0 ($\varepsilon_z < \varepsilon_{z,ad}$)

Tableau IV.14. Déformations de la couche d'assise et de la couche de forme

Avec les résultats calculés des déformations admissible et réelle, le dimensionnement de la structure de chaussée de la section courante est déterminé dans **le tableau IV.15**

Classe de portance	Type de CA (couche d'assise)	Épais.CS Couche de surface (cm)	Epais.de CA (couche d'assise) (cm)
PF3	EME2	9.5 (3.5+6)	23(11+12)

Tableau IV.15 Dimensionnement de la structure de chaussée

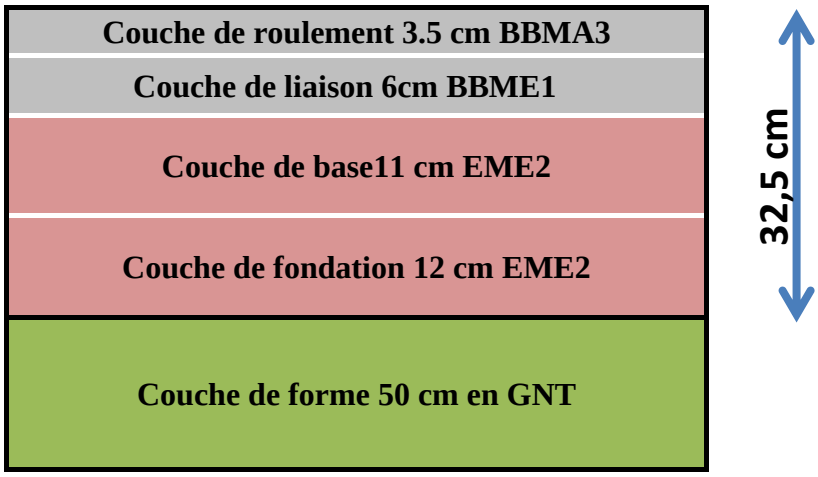
A.6. Variante de la structure de chaussée :

À travers le calcul ci-dessus, la structure recommandée de la section courante et la suivante :

- Couche de roulement : 3.5cm BBMA3 (0/10)
- Couche de liaison : 6 cm BBME1 (0/14)
- Couche de base : 11 cm EME2 (0/20)
- Couche de fondation : 12 cm EME2 (0/20)

Épaisseur totale : **<u>32.5cm</u>**

La portance permanente de la plate-forme est classée en : PF3,une couche de forme sera réalisé en GNT (0/31.5) d'une épaisseur de 50cm.



B. Conception de structure de la chaussée (cas enrobé classique):

B.1. Couches de surface

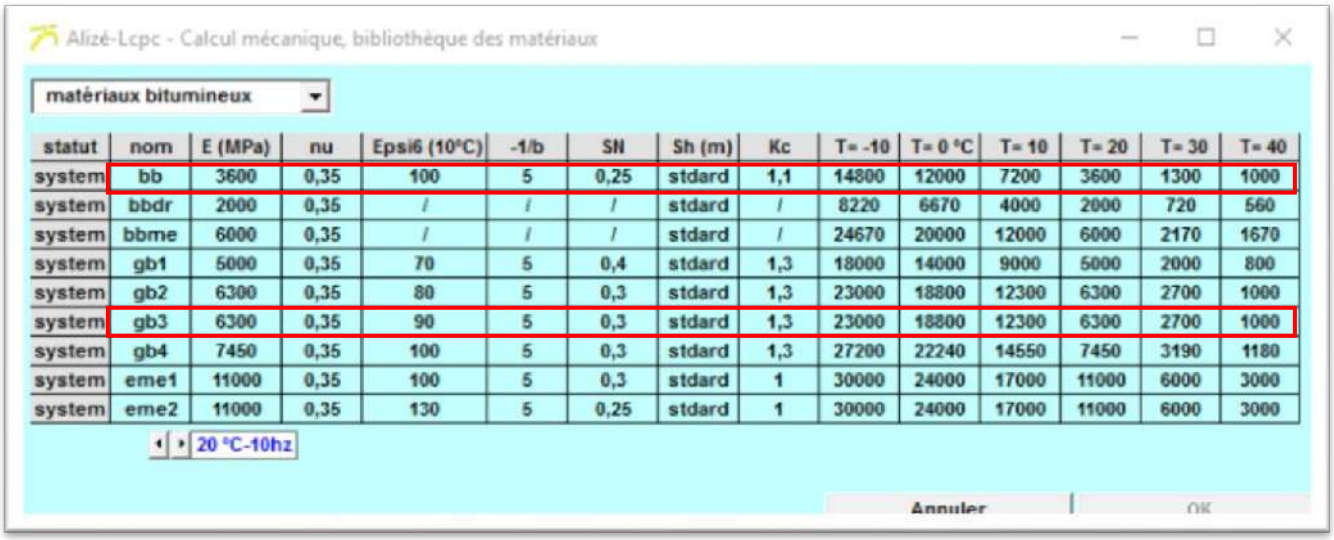
Conformément à Catalogue des Structures Type de Chaussées Neuves (1998 SETRA/LCPC), la couche de surface en béton bitumineux comprend 3.5cm BBMA3+6cm BB classique, d'une épaisseur totale de **9.5cm** ; la couche d'assise est en **GB3**, dont l'épaisseur est à fixer d'après le calcul.

B.2. Classe de la plate-forme

La plate-forme de chaussée est classée en **PF3** ; et pour les paramètres, on prend :
E=120MPa ***v=0.35.***

B.3. Paramètres des enrobés retenus dans le calcul :

D'après le zonage climatique **(zone 01)**, on prend la température équivalente égale à **20°C** pour le projet.
Par l'intermédiaire du Logiciel Alizé de LCPC, on obtient les valeurs paramétriques de calcul pour l'enrobé bitumineux, qui figurent dans le **tableau IV.16.**



statut	nom	E (MPa)	nu	Epsi6 (10°C)	-1/b	SN	Sh (m)	Kc	T= -10	T= 0 °C	T= 10	T= 20	T= 30	T= 40
system	bb	3600	0,35	100	5	0,25	stdard	1,1	14800	12000	7200	3600	1300	1000
system	bbdr	2000	0,35	/	/	/	stdard	/	8220	6670	4000	2000	720	560
system	bbme	6000	0,35	/	/	/	stdard	/	24670	20000	12000	6000	2170	1670
system	gb1	5000	0,35	70	5	0,4	stdard	1,3	18000	14000	9000	5000	2000	800
system	gb2	6300	0,35	80	5	0,3	stdard	1,3	23000	18800	12300	6300	2700	1000
system	gb3	6300	0,35	90	5	0,3	stdard	1,3	23000	18800	12300	6300	2700	1000
system	gb4	7450	0,35	100	5	0,3	stdard	1,3	27200	22240	14550	7450	3190	1180
system	eme1	11000	0,35	100	5	0,3	stdard	1	30000	24000	17000	11000	6000	3000
system	eme2	11000	0,35	130	5	0,25	stdard	1	30000	24000	17000	11000	6000	3000

Figure IV.22 Valeurs paramétriques des enrobés bitumineux dans le logiciel Alizé

Type de matériaux	E (20°C,10Hz)(MPa)	ε_6 (10°C,25Hz)	b	SN	k_c
BB classique	3600	100×10^{-6}	-0.2	0.25	1.1
GB3	6300	90×10^{-6}	-0.2	0.30	1.3

Tableau IV.16 Valeurs paramétriques retenues pour le calcul

Le Coefficient de Poisson de l'enrobé bitumineux ***v =0.35***

B.4. Valeurs limites admissibles :

Les valeurs admissibles sont celle calculé précédemment dans le cas des enrobée a module élevée

B.4.1. Déformation verticale à la compression $\varepsilon_{z,ad}$ à la base de la couche de forme :

$\boldsymbol{\varepsilon_{z,ad}} = 0.012\ (NE)^{-0.222}$

Coefficient d'agressivité moyenne du poids lourds est CAM = **1.0 (**calculé précédemment dans la paragraphe 4.3.3)

Nombre équivalent cumulé d'essieux : **NE** = N×CAM= 67.94×10^{6}

$$\boldsymbol{\varepsilon_{z,ad}} = 0.012\ (NE)^{-0.222} = \underline{\mathbf{219.0\times10^{-6}}}$$

B.4.2. Déformation horizontale à la traction $\varepsilon_{t,ad}$ a la base des couches d'assise (GB3)

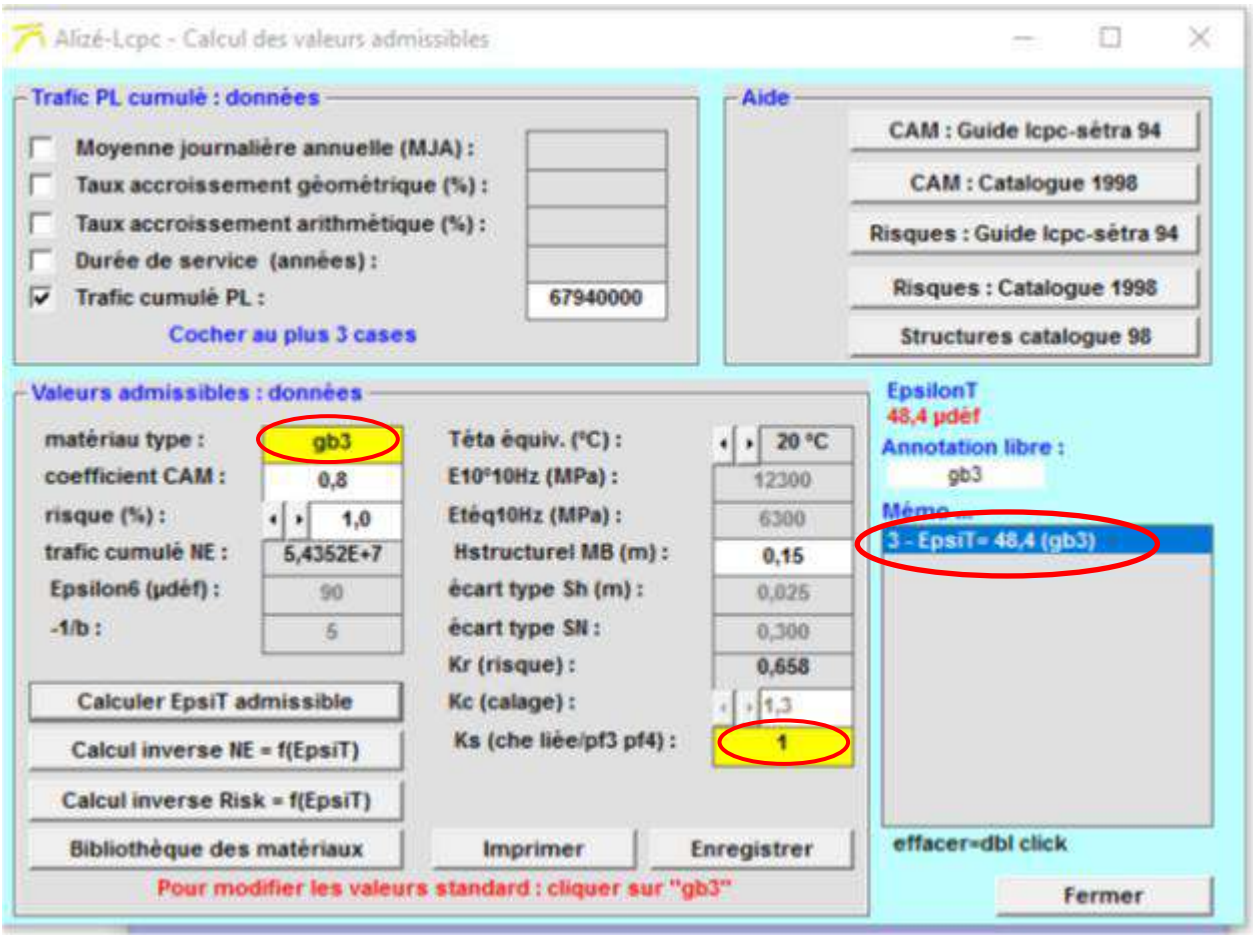


Figure IV.23 Calcul de déformation à la traction admissible

Lorsque la plate-forme est en PF3 et que la couche d'assise en GB3, les valeurs limites admissibles sont résumées dans **le tableau IV.17**.

LA CHIFFA- BARROUAGHIA		
Épais de la couche d'assise (cm)	Couche d'assise (CB, CF) $\varepsilon_{t,ad}$	Couche de forme $\varepsilon_{z,ad}$
H≥15cm	**48.4x10^{-6}**	**219.0x10^{-6}**

Tableau IV.17 Valeurs limites admissibles

B.5. Calcul des contraints et des déformations :

Il faut calculer la déformation horizontale de la couche d'assise, ainsi que la déformation verticale de la couche de forme. Selon le « Catalogue des Structures Type de Chaussées Neuves (1998 SETRA/LCPC)», la couche de roulement en **(BBMA+BB classique)** est d'une épaisseur de **9.5cm**, mais l'épaisseur de la couche de GB3 reste à déterminer. Le calcul est effectué à l'aide du logiciel Alizé,

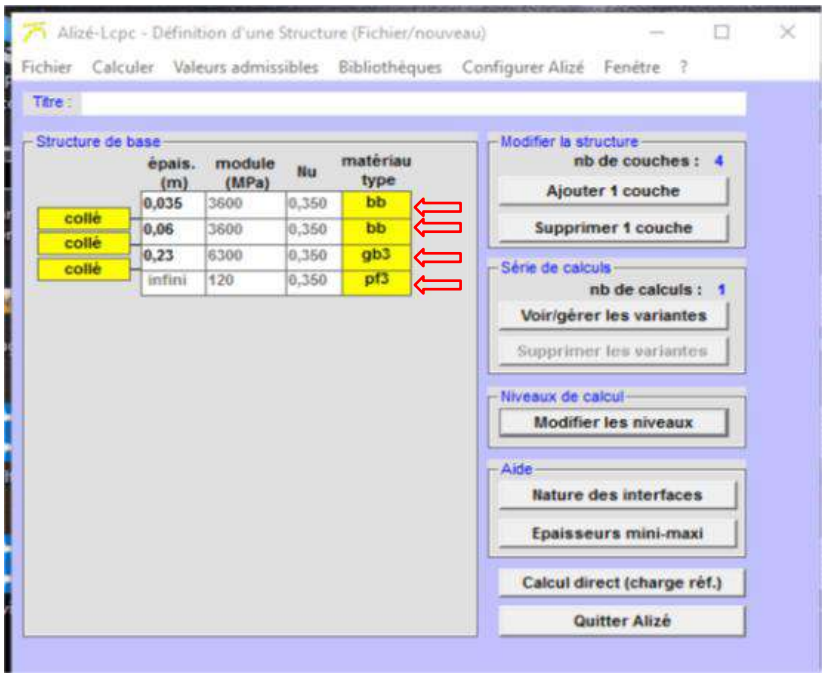


Figure IV.24 : Introduction de la structure de chaussé.

Après plusieurs itérations arithmétiques d'une d'incrément de 1 cm on obtient :

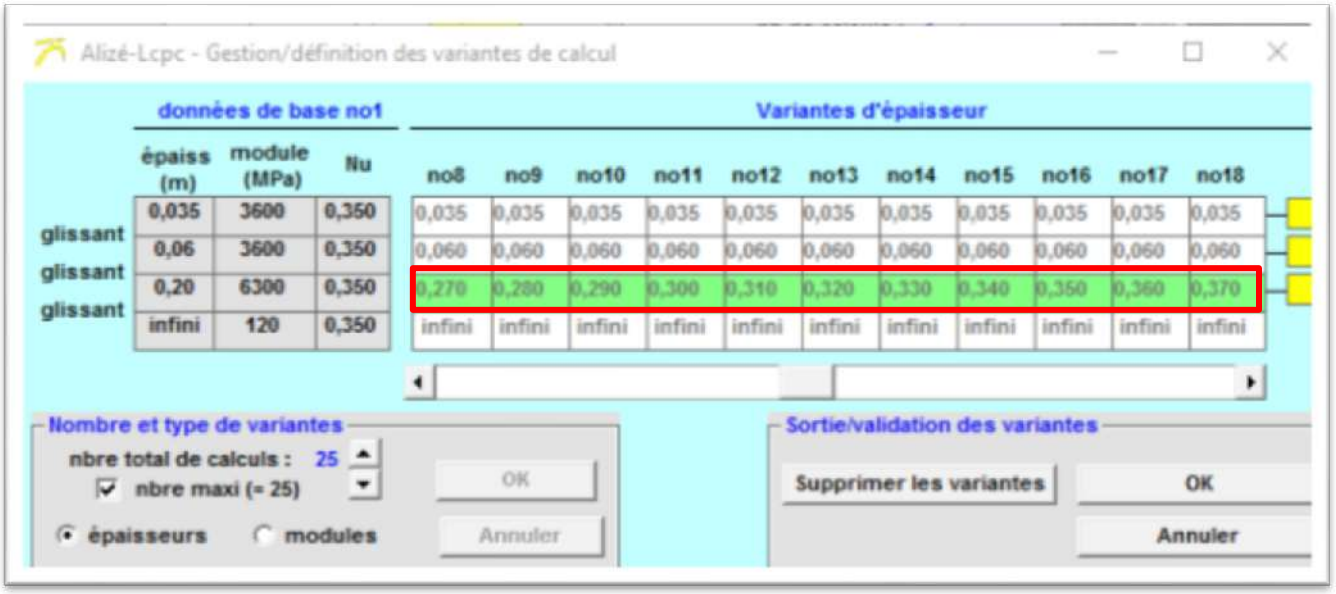
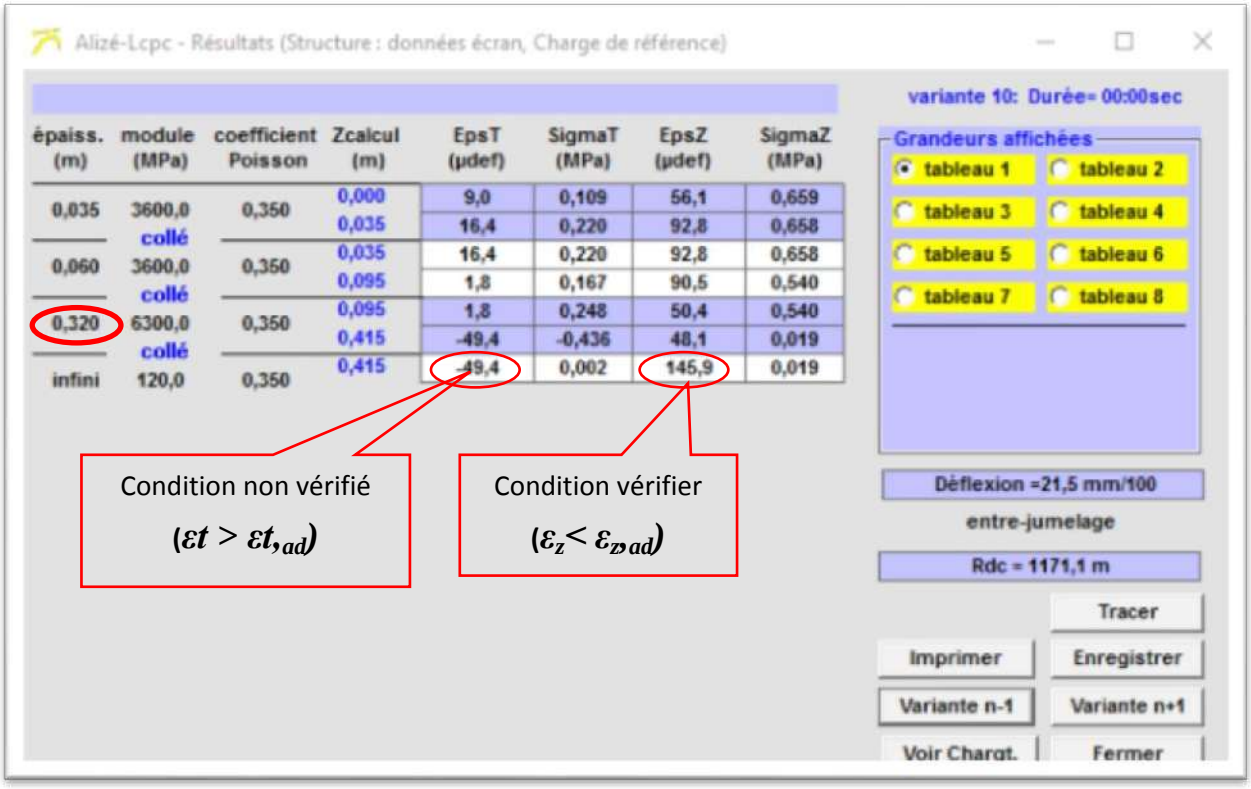
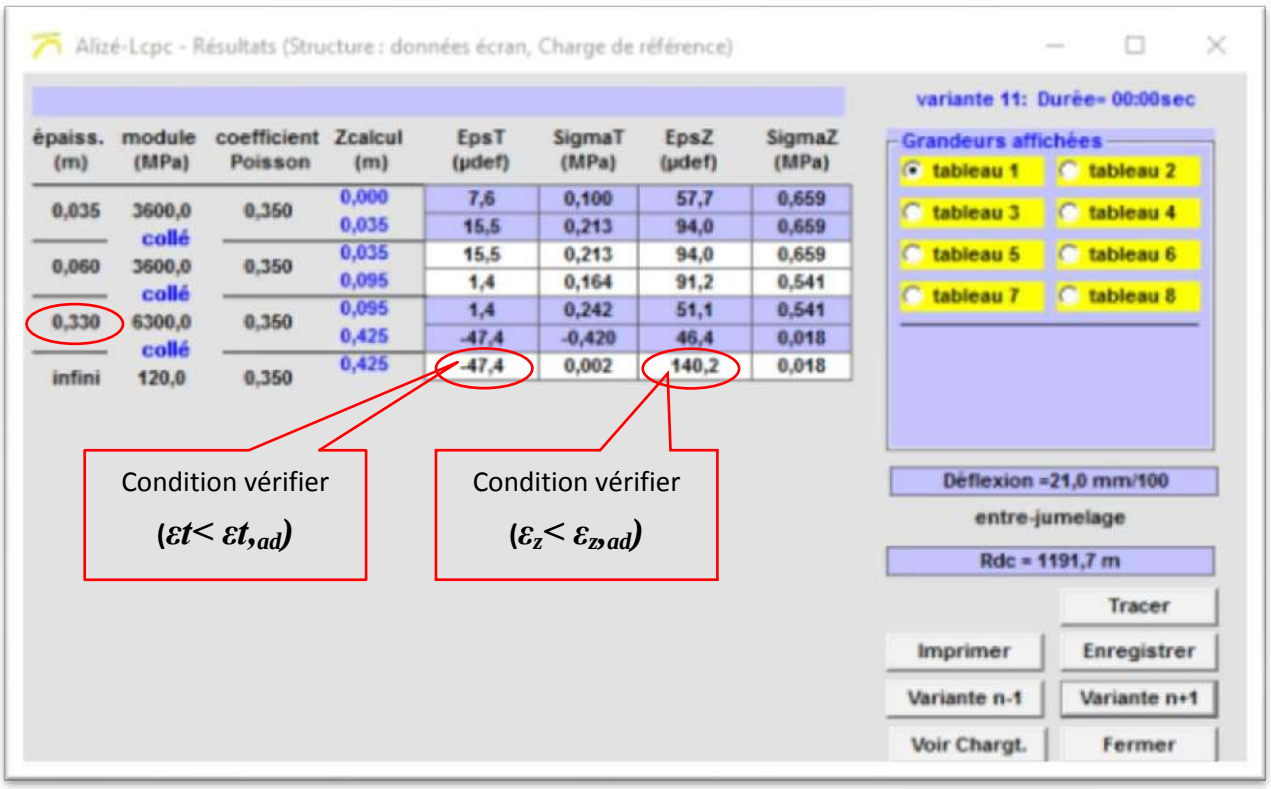


Figure IV.25 Itérations arithmétiques de la couche d'assise (GB3)



(a) Lorsque GB3 d'une épaisseur de 32cm



(b) Lorsque GB3 d'une épaisseur de 33cm

Figure IV.26 calculs des contraintes et des déformations

Classe de portance	Type de CA	Épaisseur.(cm)	Déformation réelle du fond de la couche GB3 ε_t ($\times 10^{-6}$)	Déformation réelle du fond de CDF ε_z ($\times 10^{-6}$)
PF3	GB3	32(17+15)	49.4($\varepsilon t > \varepsilon t,_{ad}$)	145.9 ($\varepsilon_z < \varepsilon_{z,ad}$)
		33(17+16)	**47.4** ($\varepsilon t < \varepsilon t,_{ad}$)	**140.2**($\varepsilon_z < \varepsilon_{z,ad}$)

Tableau IV.18 Déformations de la couche d'assise et de la couche de forme

Avec les résultats calculés des déformations admissible et réelle, le dimensionnement de la structure de chaussée de la section courante est déterminé dans le **tableau IV.19**.

Classe de portance	Type de CA (couche d'assise)	Épais.CS Couche de surface (cm)	Epais.de CA (couche d'assise) (cm)
PF3	GB3	9.5 (3.5+6)	33(17+16)

Tableau IV.19 Dimensionnement de la structure de chaussée

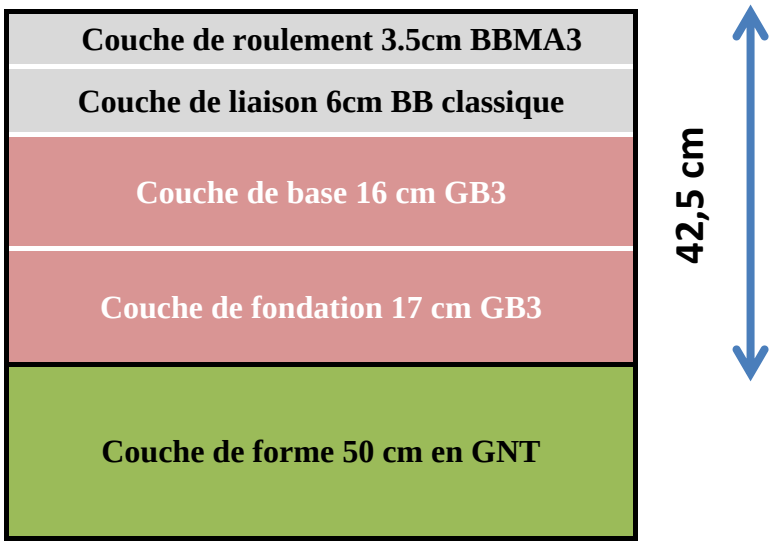
B.6. Variante de la structure de chaussée

À travers le calcul ci-dessus, la structure recommandée des trois tronçons de la section courante et la suivante :

- Couche de roulement : 3.5cm BBMA3 (0/10)
- Couche de liaison : 6cm BB classique (0/14)
- Couche de base : 16 cm GB3 (0/20)
- Couche de fondation : 17 cm GB3 (0/20)

Épaisseur totale : **42.5cm**

La portance permanente de la plate-forme est classée en : **PF3**, une couche de forme sera réalisé en GNT (0/31.5) d'une épaisseur de **50cm**.



CHAPITRE V

PARTIE EXPERIMENTALE

V. Partie expérimentale :

Ce chapitre regroupe les différents essais d'identification réalisés sur les enrobés (formulation sur les enrobés classique et les enrobés à module élevé), dans le but d'évaluer l'influence des résidus de PVC broyé sur les performances mécaniques.

V.1 Essais d'identification des agrégats :

a. Analyse granulométriques NF P 18 – 560 :

- Echantillon : Sable 0/3, Carrière : TAMEZGUIDA

Prise d'essai (grammes) : **1000,00**

Tamis (mm)	Refus (g)	Refus (%)	Tamisats (%)
50	0,00	0,00	100,00
31,5	0,00	0,00	100,00
25	0,00	0,00	100,00
20	0,00	0,00	100,00
16	0,00	0,00	100,00
14	0,00	0,00	100,00
12,5	0,00	0,00	100,00
10	0,00	0,00	100,00
8	0,00	0,00	100,00
6,3	0,00	0,00	100,00
5	0,00	0,00	100,00
4	42,42	4,24	95,76
2	366,92	36,69	63,31
1	575,48	57,55	42,45
0,4	725,78	72,58	27,42
0,315	753,16	75,32	24,68
0,2	794,77	79,48	20,52
0,1	831,59	83,16	16,84
0,08	839,79	83,98	16,02

Tableau V.1 : Analyse granulométrique sable 0/3

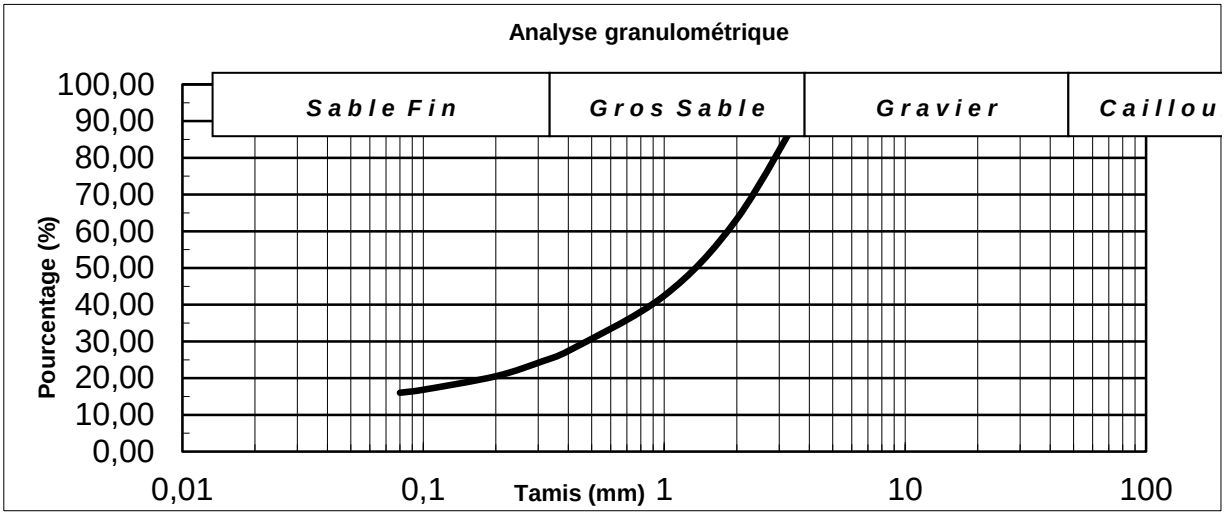


Figure V.1 : courbe Analyse granulométrique sable 0/3.

- Echantillon : Gravier 3/8, Carrière : TAMEZGUIDA

Prise d'essai (grammes): 2000,00

Tamis (mm)	Refus (g)	Refus (%)	Tamisats (%)
50	0,00	0,00	100,00
31,5	0,00	0,00	100,00
25	0,00	0,00	100,00
20	0,00	0,00	100,00
16	0,00	0,00	100,00
14	0,00	0,00	100,00
12,5	0,00	0,00	100,00
10	15,00	0,75	99,25
8	169,00	8,45	91,55
6,3	872,00	43,60	56,40
5	1500,00	75,00	25,00
4	1871,00	93,55	6,45
2	1978,00	98,90	1,10
1	1990,00	99,50	0,50
0,4	1990,00	99,50	0,50
0,315	1990,00	99,50	0,50
0,2	1990,00	99,50	0,50
0,1	1990,00	99,50	0,50
0,08	1990,00	99,50	0,50

Tableau V.2 : Analyse granulométrique gravier 3/8

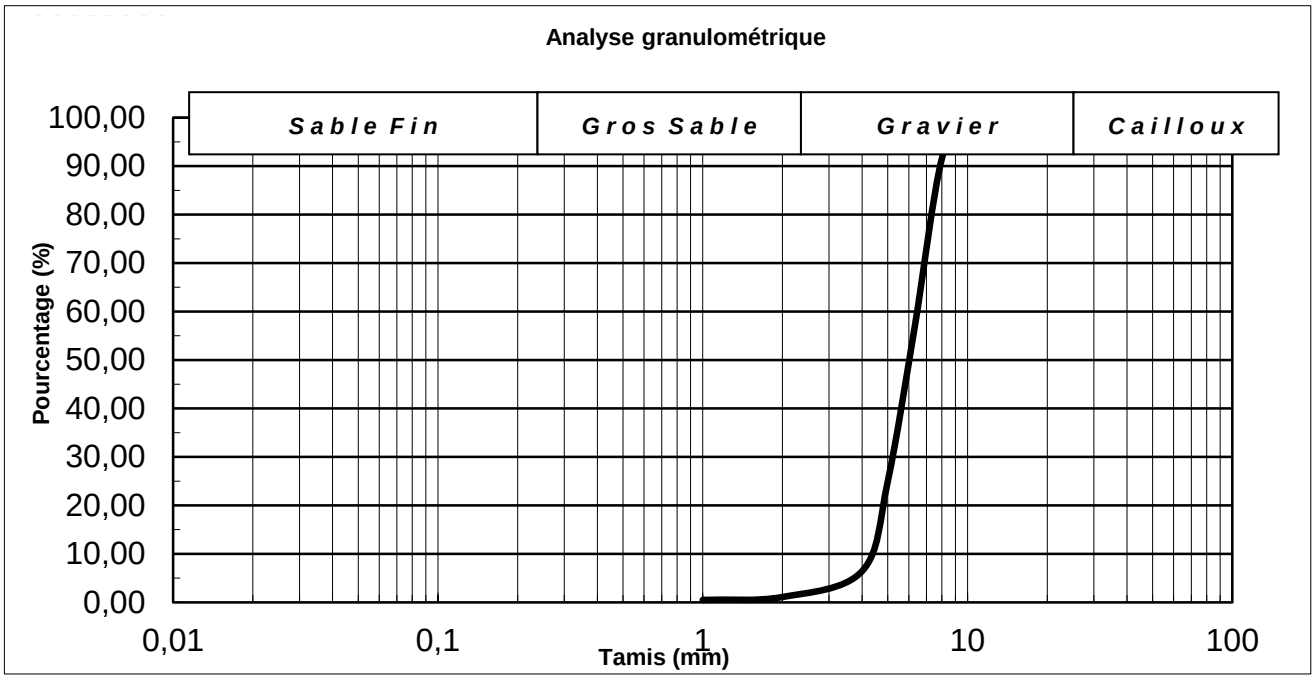


Figure V.2 : courbe Analyse granulométrique gravier 3/8

- Echantillon : Gravier 8/15, Carrière : TAMEZGUIDA

Prise d'essai (grammes): 3000,00

Tamis (mm)	Refus (g)	Refus (%)	Tamisats (%)
50	0,00	0,00	100,00
31,5	0,00	0,00	100,00
25	0,00	0,00	100,00
20	0,00	0,00	100,00
16	154,00	5,13	94,87
14	517,00	17,23	82,77
12,5	967,00	32,23	67,77
10	1909,00	63,63	36,37
8	2517,00	83,90	16,10
6,3	2863,00	95,43	4,57
5	2965,00	98,83	1,17
4	2984,00	99,47	0,53
2	2995,00	99,83	0,17
1	2995,00	99,83	0,17
0,4	2995,00	99,83	0,17
0,315	2995,00	99,83	0,17
0,2	2995,00	99,83	0,17
0,1	2995,00	99,83	0,17
0,08	2995,00	99,83	0,17

Tableau V.3 : Analyse granulométrique gravier 8/15.

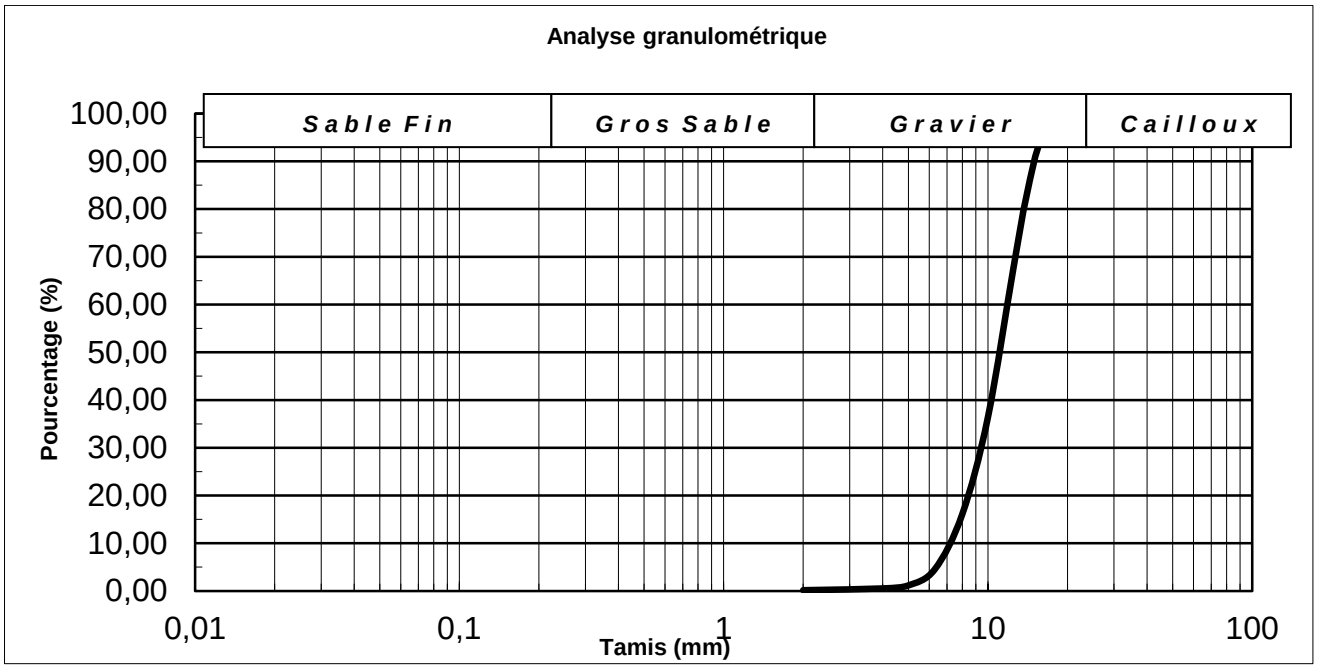


Figure V.3 : courbe Analyse granulométrique gravier 8/15.

- Echantillon : Gravier 15/25, Carrière : TAMEZGUIDA

Prise d'essai (grammes): 5000,00

Tamis (mm)	Refus (g)	Refus (%)	Tamisats (%)
50	0,00	0,00	100,00
31,5	0,00	0,00	100,00
25	0,00	0,00	100,00
20	662,00	13,24	86,76
16	4046,00	80,92	19,08
14	4624,00	92,48	7,52
12,5	4807,00	96,14	3,86
10	4919,00	98,38	1,62
8	4975,00	99,50	0,50
6,3	4975,00	99,50	0,50
5	4975,00	99,50	0,50
4	4975,00	99,50	0,50
2	4975,00	99,50	0,50
1	4975,00	99,50	0,50
0,4	4975,00	99,50	0,50
0,315	4975,00	99,50	0,50
0,2	4975,00	99,50	0,50
0,1	4975,00	99,50	0,50
0,08	4975,00	99,50	0,50

Tableau V.4 : Analyse granulométrique gravier 15/25.

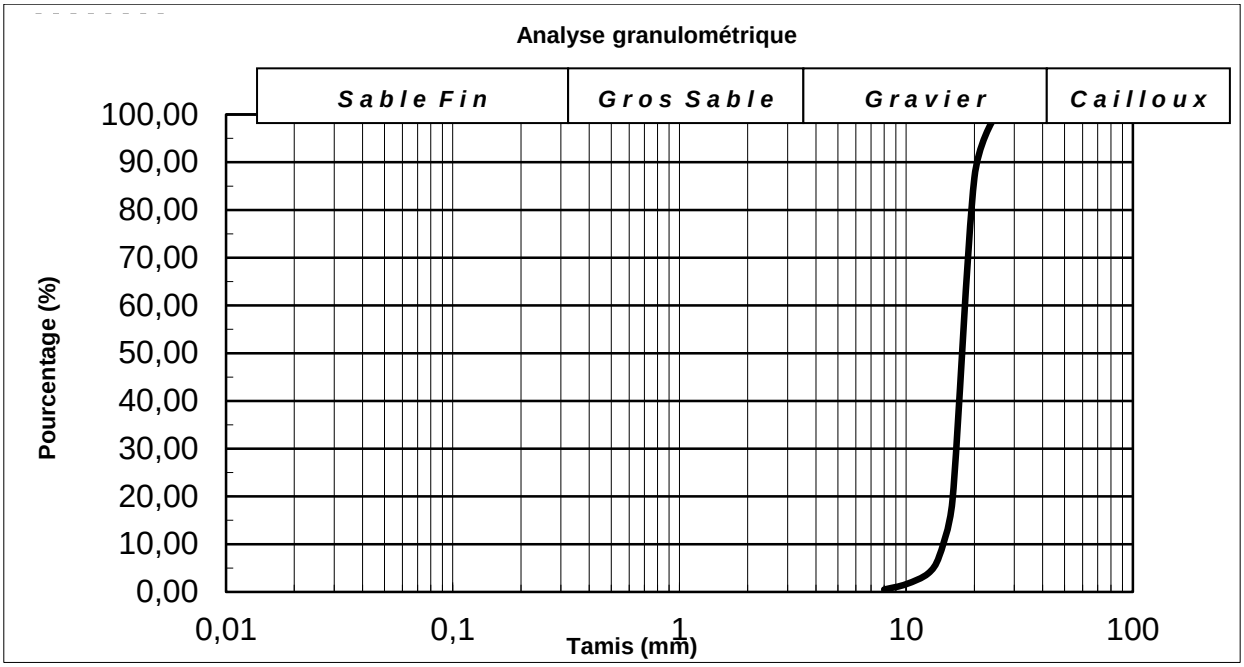


Figure V.4 : courbe Analyse granulométrique gravier 15/25.

b. Coefficient d'aplatissement NF P 18 – 561 :

- Echantillon 3/8, Carrière : TAMEZGUIDA

Tamisage sur tamis		**Tamisage sur grilles**		
Classe granulaire	**M_g**	**Ecartement Des grille**	**Passant M_e**	
d/D (mm)	**(grs)**	**s (mm)**	**(grs)**	**M_e/M_g*100**
> 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	0	**6.3**	0	
8 - 10	35	**5**	25	
6,3 - 8	154	**4**	90	
5 - 6,3	703	**3.15**	83	
4 - 5	628	**2.5**	115,71	
M = ∑ M_g = 1712.57	**1520**	**∑ M_e = 463.95**	**313,71**	
	A =	**20,63**	**%**	

Tableau V.5 : Coefficient d'aplatissement gravier 3/8.

- Echantillon 8/15, Carrière : TAMEZGUIDA

Tamisage sur tamis		**Tamisage sur grilles**		
Classe granulaire	**M_g**	**EcartementDes grille**	**Passant M_e**	
d/D (mm)	**(grs)**	**s (mm)**	**(grs)**	**M_e/M_g*100**
> 50		**31.5**		
40 - 50		**25**		
31.5 - 40		**20**		
25 - 31.5	0	**16**	0	
20 - 25	0	**12.5**	0	
16 - 20	154	**10**	45	
12.5 - 16	383	**8**	176	
10 - 12.5	942	**6.3**	257	
8 - 10	608	**5**	142	
6,3 - 8	346	**4**	84	
5 - 6,3	102	**3.15**	25	
4 - 5	19	**2.5**	5	
M = ∑ M_g = 1712.57	**2554**	**∑ M_e = 463.95**	**734**	
	A =	**28,74**	**%**	

Tableau V.6 : Coefficient d'aplatissement gravier 8/15.

- Echantillon 15/25, Carrière : TAMEZGUIDA

Tamisage sur tamis		**Tamisage sur grilles**		
Classe granulaire	**M_g**	**Ecartement Des grille**	**Passant M_e**	
d/D (mm)	**(grs)**	**s (mm)**	**(grs)**	**M_e/M_g*100**
> 50		**31.5**		
40 - 50		**25**		
31.5 - 40	0	**20**	0	
25 - 31.5	0	**16**	0	
20 - 25	662	**12.5**	124	
16 - 20	3384	**10**	548	
12.5 - 16	761	**8**	155	
10 - 12.5	112	**6.3**	17	
8 - 10	56	**5**	12	
6,3 - 8	0	**4**	0	
5 - 6,3		**3.15**		
4 - 5	0	**2.5**	0	
M = ∑ M_g = 1712.57	**4975**	**∑ M_e = 463.95**	**856**	
	A =	**17,21**	**%**	

Tableau V.7 : coefficient d'aplatissement gravier 15/25.

c. Equivalent de sable a 10% des fines NF P 18 – 597 :

- Echantillon : sable 0/3, Carrière : TAMEZGUIDA

N° Tube	**Hauteur Total**	**Hauteur H1 Sable visible**	**Hauteur H2 Piston**	**ES (%)**
I	43	12,30	8,70	70,73 %
II	43	12,30	8,80	71,54 %
Moyenne				**71,14 %**

Tableau V.8 : Equivalent de sable.

d. Essai Los-Angeles NF P 18 – 573 :

- Echantillon : gravier 3/8, 8/15, Carrière : TAMEZGUIDA

N° De L'échantillon	**Nature De L'échantillon**	**Classe Granulaire**	**Nombre De boulets**	**Masse sèche Après Essai**	**Coefficient LA (%)**
I	8/15	10 - 14	11	3835,00	**23,30**

Tableau V.9 : los Angeles 3/8 et 8/15.

e- Masse volumique absolue des agrégats NF P 18 – 555 :

- Echantillon : 0/3, 3/8, 8/15, 15/25 Carrière : TAMEZGUIDA

Classe	0/3	3/8	8/15	15/25
TEMPERATURE (T) EN °C	25	25	25	25
NATURE DU LIQUIDE (DENSITE) E	1	1	1	1
PICNOMETRE + LIQUIDE P1	979,84	979,84	979,84	979,84
POIDS DE L'ECHANTILLON P2	500	500	500	500
POIDS TOTAL A = P1 + P2	1479,84	1479,84	1479,84	1479,84
PICNO + ECHANTILLON + LIQUIDE B = A - P2	1291,71	1294,1	1293,44	1292,83
POIDS LIQUIDE COMPLEMENTAIRE C = A – B	188,13	185,74	186,4	187,01
VOLUME DE L'ECHANTILLON D = C/E	188,13	185,74	186,4	187,01
POIDS SPECIFIQUE Mv = P2 / D	2,66	2,69	2,68	2,67

Tableau V.10: Masse volumique 0/3, 3/8, 8/15, 15/25

f- Valeur de Bleu de Méthylène EN 933 – 9 :

- Echantillon : sable 0/3: carrière TAMEZGUIDA

MBF / Valeur au bleu d'un sable EN 933 - 9 / ANNEXE A	
Masse sèche de la prise d'essai de la fraction 0/008 mm, grs	M1 = 30
Quantité totale de la solution colorée ajoutée, ml	V1 = 5
MBF exprimé en gramme de bleu pour 1000 g Du fraction 0/0,125 mm	MBF = 1,67

Avec : MBF = V1/M1 x 10

Valeur au bleu d'un sol ou d'un matériau rocheux (D max ≤ 5 mm)	
Masse sèche de la prise d'essai de la fraction 0/5 mm, grs	M1 = 200
Quantité totale de la solution colorée ajoutée, ml	V1 = 5
MB exprimé en gramme de bleu pour 1000 g Du fraction 0/2 mm	MB = 0,25

Tableau V.11 : valeur de bleu de méthylène sable 0/3

g. Essai Micro-Deval NF P 18 – 572 :

- Echantillon : Gravier : 3/8, 8/15, 15/25: carrière TAMEZGUIDA

N° De L'échantillon	Nature De L'échantillon	Classe Granulaire	Poids initial P du matériau	Poids P' Après usure	MDE (%)
I	3/8 & 8/15	10 – 14	500	419,20	16,16
II	8/15	10 – 14	500	418,12	16,38

Classe Granulaire (mm)	Charge abrasive (grs)
10…….14	5000 ± 5
6.3……10	4000 ± 5
4 ……..6.3	2000 ± 5

MDE = (500 – P') /500*100

Tableau V.12: Micro Deval 3/8, 8/15, 15/25.

V.2 ESSAIS REALISES SUR LE BITUME :

a. Essai de densité relative A 25° C (NF T 66 – 007) :

ESSAI	D1	D2	D3
VALEUR	1.03	1.03	1.02
MOYENNE	**1.03**		
SPECIFICATION	1 à 1.10		

Tableau V.13 : Densité relative de bitume.

b. Essai de pénétrabilité (NF EN 1426) :

ESSAI	P1	P2	P3
VALEUR	44	44	43
MOYENNE	**43**		
SPECIFICATION	40 à 50		

Tableau V.14 : Pénétrabilité de bitume.

c. Essai de point de ramollissement (NF EN 1427) :

ESSAI	TBA1	TBA2	TBA3
VALEUR	51	52	50
MOYENNE	**51**		
SPECIFICATION	47 à 60		

Tableau V.15 : Point de ramollissement de bitume.

d. Essai de perte de masse au chauffage (NF EN 13303) :

ESSAI	M1	M2	
P1	143.74	142.67	(g)
P2	143.69	142.64	(g)
PERTE DE MASSE	0.05	0.03	(g)
PERTE DE MASSE	0.035	0.021	(%)
MOYENNE	**0.028**		**(%)**
SPECIFICATION	< 0,5		(%)

Tableau V.16 : Perte de masse de bitume

e. Essai de point d'éclair - point de flamme (NF EN ISO 2592) :

TEMPERATURE POINT D'ECLAIRE (° C)	310
TEMPERATURE POINT DE FLAMME (° C)	**> 340**
SPECIFICATION (° C)	> 250

Tableau V.17 : Point d'éclair de bitume

V.3 Études de formulation enrobés classiques Niveau 3, Classe 3 , carrière TAMEZGUIDA :

A. Formulation Grave bitume GB 0/20 :

L'étude de formulation pour un Enrobé GB 0/20, Bitume 40/50 est faite en répondant aux spécifications de la norme NF P 98 – 138

1. Composition du mélange GB 0/20 :

Tamis	**Gravier 15/25**		**Gravier 8/15**		**Gravier 3/8**		**Sable 0/3**		**Mélange**
en (mm)	100%	**20,0%**	100%	**20,0%**	100%	**20,0%**	100%	**40,0%**	**100,0%**
31,5	100,00	20,00	100,00	20,00	100,00	20,00	100,00	40,00	**100,00**
25	100,00	20,00	100,00	20,00	100,00	20,00	100,00	40,00	**100,00**
20	86,76	17,35	100,00	20,00	100,00	20,00	100,00	40,00	**97,35**
16	19,08	3,82	94,87	18,97	100,00	20,00	100,00	40,00	**82,79**
14	7,52	1,50	82,77	16,55	100,00	20,00	100,00	40,00	**78,06**
12,5	3,86	0,77	67,77	13,55	100,00	20,00	100,00	40,00	**74,33**
10	1,62	0,32	36,37	7,27	99,25	19,85	100,00	40,00	**67,45**
8	0,50	0,10	16,10	3,22	91,55	18,31	100,00	40,00	**61,63**
6,3	0,50	0,10	4,57	0,91	56,40	11,28	100,00	40,00	**52,29**
5	0,50	0,10	1,17	0,23	25,00	5,00	100,00	40,00	**45,33**
4	0,50	0,10	0,53	0,11	6,45	1,29	95,76	38,30	**39,80**
2	0,50	0,10	0,17	0,03	1,10	0,22	63,31	25,32	**25,68**
1	0,50	0,10	0,17	0,03	0,50	0,10	42,45	16,98	**17,21**
0,4	0,50	0,10	0,17	0,03	0,50	0,10	27,42	10,97	**11,20**
0,315	0,50	0,10	0,17	0,03	0,50	0,10	24,68	9,87	**10,11**
0,2	0,50	0,10	0,17	0,03	0,50	0,10	20,52	8,21	**8,44**
0,1	0,50	0,10	0,17	0,03	0,50	0,10	16,84	6,74	**6,97**
0,08	0,50	0,10	0,17	0,03	0,50	0,10	16,02	6,41	**6,64**

Mv	**2,66**	**2,65**	**2,65**	**2,63**	**MVRG = 2,644**

Paramètres à introduire:	**Liant = 4,60**	**D (liant) = 1,03**
Résultats obtenus:	**K = 2,878 ≥ 2.8**	**MVRE = 2,473**

Tableau V.18 : Mélange Grave bitume GB..

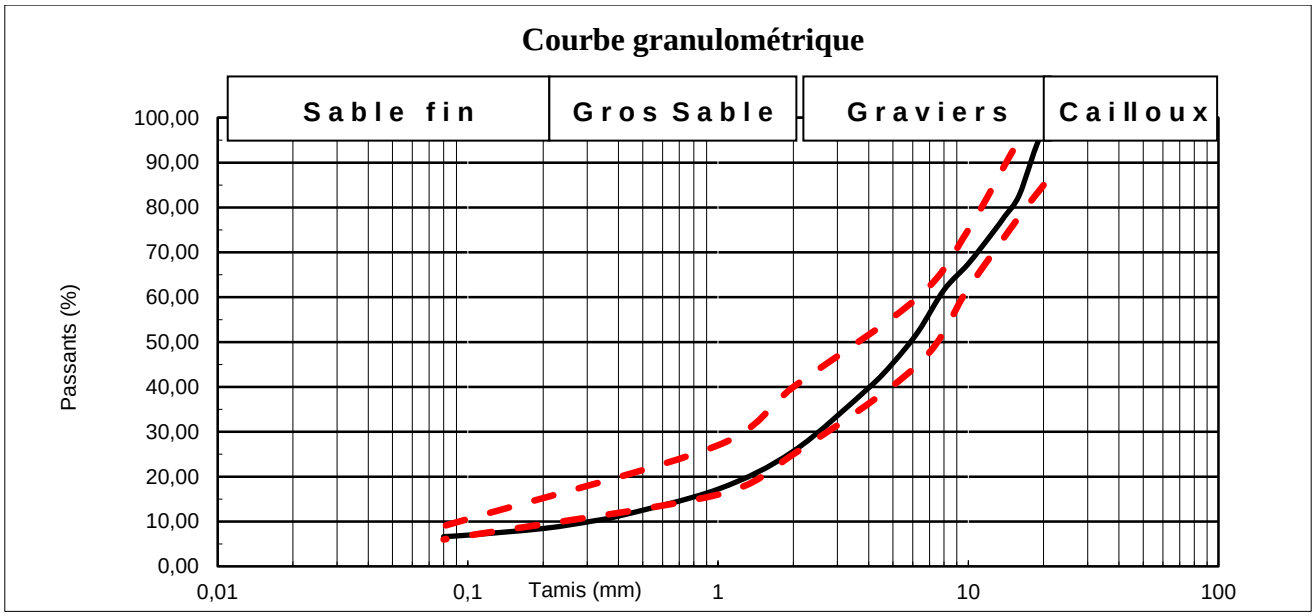


Figure V.5 : courbe de Mélange GB dans le fuseau

2. *Composition du mélange :*

Fraction	Proportion (%)
0/3	40
3/8	20
8/15	20
15/25	20
Bitume 40/50	4.60

Tableau V.19 : Composition du mélange GB

3. *Essai PCG :*

La teneur en vide à 120 girations est de 7.57%, cette valeur est conforme à la norme EN 13108-1 (Exigence inferieur ou égale à 10%)

NOMBRE DE GIRATIONS	HAUTEUR (mm)	MASSE VOLUMIQUE (Kg/m3)	POURCENTAGE DE VIDE (%)	Spécifications
5	130,62	1910,55	23,43	
10	125,05	1995,58	20,03	
15	121,84	2048,27	17,92	
20	119,59	2086,79	16,37	
25	117,91	2116,42	15,18	
30	116,56	2140,96	14,20	
40	114,47	2180,11	12,63	
50	112,96	2209,27	11,46	
60	111,90	2230,21	10,62	
80	110,16	2265,40	9,21	
100	109,04	2288,76	8,28	
120	**108,20**	**2306,47**	**7,57**	**≤ 10% classe 03**

Tableau V.20 : PCG GB

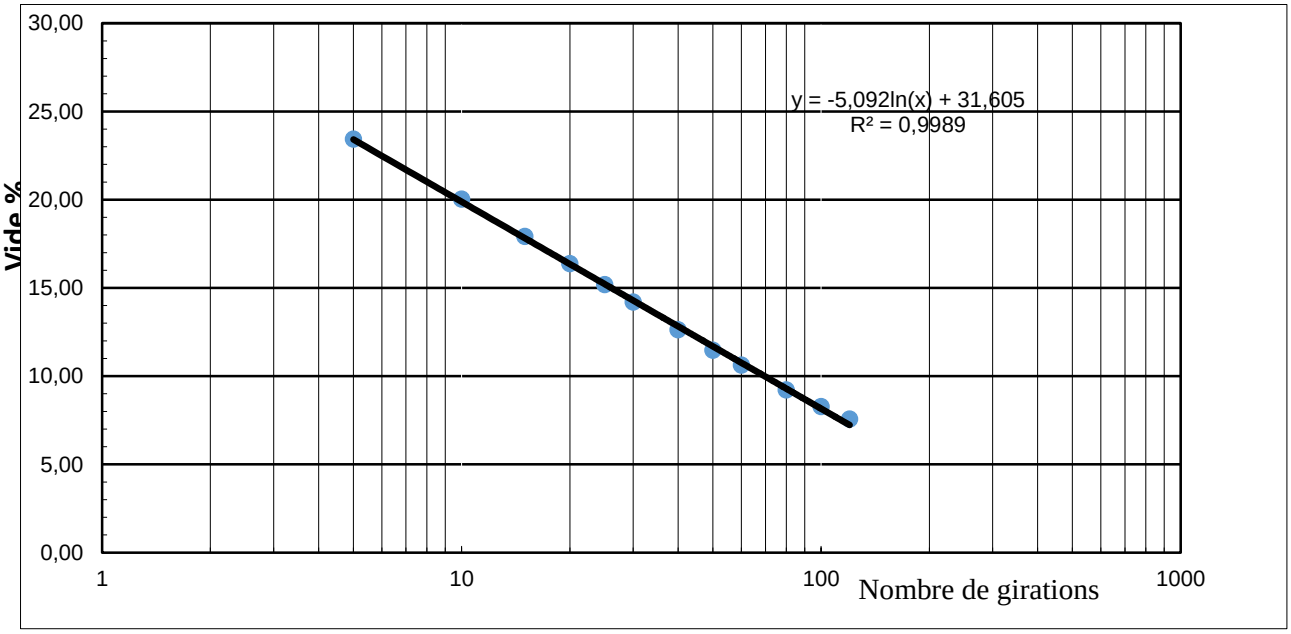


Figure V.6 : Courbe d'évaluation, pourcentage des vides par rapport au nombre de girations

4. Essai de sensibilité à l'eau à 18° C, Duriez :

Le rapport immersion/sec est de 0.71, conforme à la norme EN 13108-1 (Exigence 0.70 minimum)

Eprouvette		**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Date de confection	19 - 02	19 - 02	19 - 02	19 - 02	19 - 02	19 - 02	19 – 02
Eprouvette	MVA	Immergée	Immergée	Immergée	Sec	Sec	Sec
Masse, J + 1, g	3502	3508	3487	3479	3505	3505	3504
Epaisseur, mm	131	136	137	137	137	136	136
Diamètre, mm	120	120	120	120	120	120	120
MVa, g/cm3	2,34	2,28	2,25	2,25	2,26	2,28	2,28
MVA, g/cm3	**2,31**	//	//	//	//	//	//

Date d'écrasement	**27 - 02**	**27 - 02**	**27 - 02**	**27 - 02**	**27 - 02**	**27 – 02**
Masse, J + 8, g	**3591**	**3555**	**3566**	**3505**	**3505**	**3504**
Imbibition, W, %	**2,37**	**1,95**	**2,50**	//	//	//
Charge de rupture, KN	**69,14**	**68,22**	**67,48**	**96,22**	**95,49**	**97,12**
Résistance en immerssion, r, Mpa	**6,12**	**6,04**	**5,97**	//	//	//
Résistance à sec, R, Mpa	//	//	//	**8,51**	**8,45**	**8,59**
Moyenne, r	**6,04**			//		
Moyenne, R	//			**8,52**		
r/R	**0,71**					
Spécifications	**≥ 0.70 classe 03**					

Tableau V.21 : Sensibilité à l'eau, Duriez GB.

5. Essai d'orniérage :

La valeur obtenue est de 8.60%, valeur est conforme à la norme EN 13108-1 (Exigence inférieur à 10%)

Eprouvette A (Profondeur en %)	0,00	2,63	4,23	6,03	8,29
Eprouvette B (Profondeur en %)	0,00	2,89	4,61	6,42	8,91
Moyenne	**0,00**	**2,76**	**4,42**	**6,23**	**8,60**
Spécifications Profondeur moyen d'orniérage / GB 0/20- CLASSE 4					**≤ 10% classe 03**

Tableau V.22 : Orniérage GB

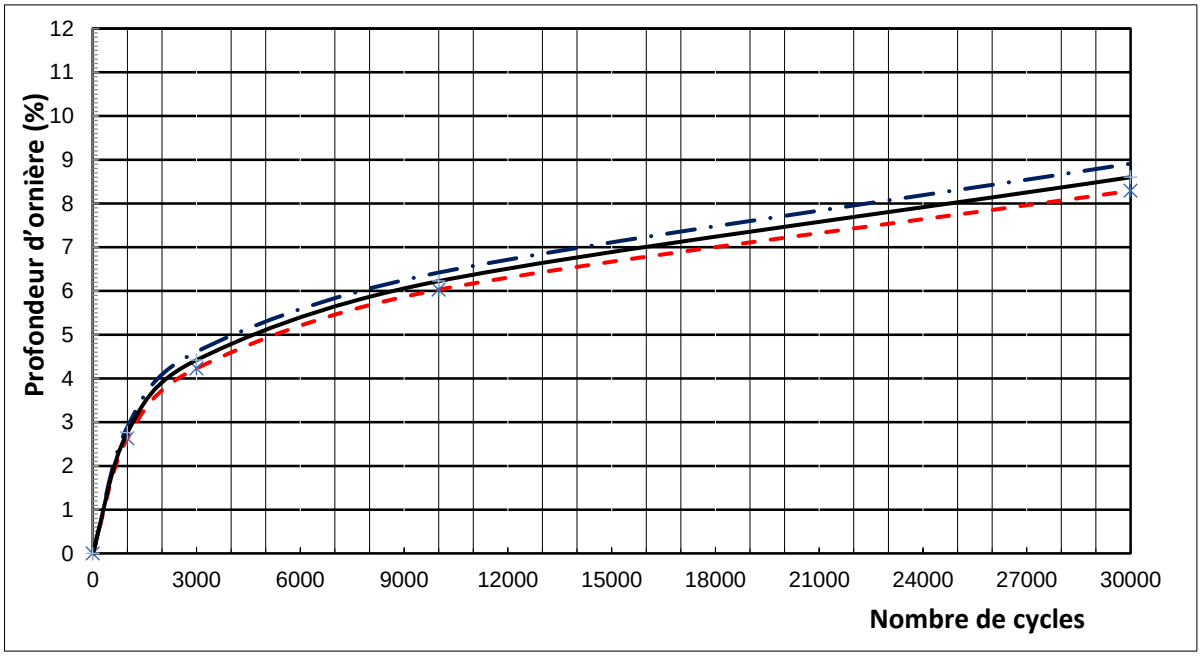
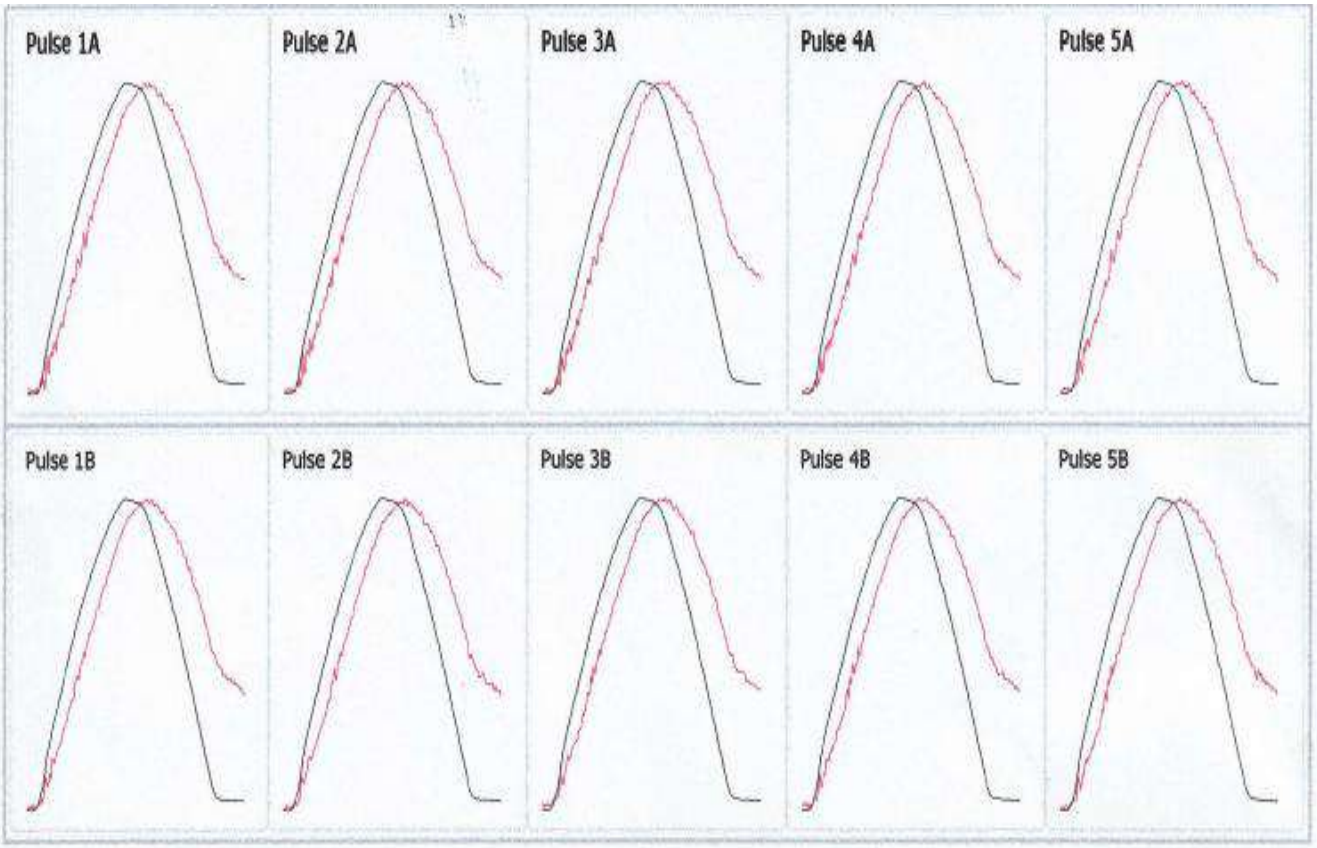


Figure V.7 : Courbe profondeur d'ornière GB proportionnelle en fonction de nombre de cycles

6. Essai de module de rigidité :

La valeur obtenue à 15° C est de 11 135 MPa valeur est conforme à la norme EN 13108-1 (Exigence plus de 9 000 MPa)



Test Results

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	**Mean A&B**
Load Peak to Peak (kN)	4.44	4.44	4.44	4.44	4.44	4.44	4.44	4.45	4.44	4.44	4.45	4.44	**4.44**
Horizontal Stress (kPa)	448.8	448.5	448.5	448.8	448.6	448.6	449.1	449.3	449.1	449.0	449.2	449.1	**448.9**
Load-Area Factor	0.60	0.59	0.59	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	**0.60**
Horizontal Deformation (um)	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	**3.9**
Load Rise Time (ms)	123	125	125	124	124	124	124	124	124	125	125	124	**124**
Measured Stiffness (MPa)	11347	11168	11198	11124	11141	11196	11257	11129	11046	11038	11069	11108	**11152**
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	11376	11112	11142	11112	11130	11174	11260	11133	11054	11002	11034	11097	**11135**

TableauV.23 : Résultat de l'essai de Module de rigidité GB

B. Formulation béton bitumineux BBSG 0/14 :

L'étude de formulation pour un Enrobé BBSG 0/14, Bitume 40/50 est faite en répondant aux spécifications de norme NF P 98 – 130

1. Composition du mélange BB 0/14 :

Tamis	**Gravier 8/15**		**Gravier 3/8**		**Sable 0/3**		**Mélange**
en (mm)	100%	**32,0%**	100%	**25,0%**	100%	**43,0%**	**100,0%**
31,5	100,00	32,00	100,00	25,00	100,00	43,00	**100,00**
25	100,00	32,00	100,00	25,00	100,00	43,00	**100,00**
20	100,00	32,00	100,00	25,00	100,00	43,00	**100,00**
16	94,87	30,36	100,00	25,00	100,00	43,00	**98,36**
14	82,77	26,49	100,00	25,00	100,00	43,00	**94,49**
12,5	67,77	21,69	100,00	25,00	100,00	43,00	**89,69**
10	36,37	11,64	99,25	24,81	100,00	43,00	**79,45**
8	16,10	5,15	91,55	22,89	100,00	43,00	**71,04**
6,3	4,57	1,46	56,40	14,10	100,00	43,00	**58,56**
5	1,17	0,37	25,00	6,25	100,00	43,00	**49,62**
4	0,53	0,17	6,45	1,61	95,76	41,18	**42,96**
2	0,17	0,05	1,10	0,28	63,31	27,22	**27,55**
1	0,17	0,05	0,50	0,13	42,45	18,25	**18,43**
0,4	0,17	0,05	0,50	0,13	27,42	11,79	**11,97**
0,315	0,17	0,05	0,50	0,13	24,68	10,61	**10,79**
0,2	0,17	0,05	0,50	0,13	20,52	8,82	**9,00**
0,1	0,17	0,05	0,50	0,13	16,84	7,24	**7,42**
0,08	0,17	0,05	0,50	0,13	16,02	6,89	**7,07**

Mv	**2,65**	**2,65**	**2,63**	**MVRG = 2,641**
Paramètres à introduire :		**Liant = 5,60**		**D (liant) = 1,03**
Résultats obtenus :		**K = 3,443 ≥ 3.2 classe 03**		**MVRE = 2,439**

Tableau V.24 : mélange BB 0/14

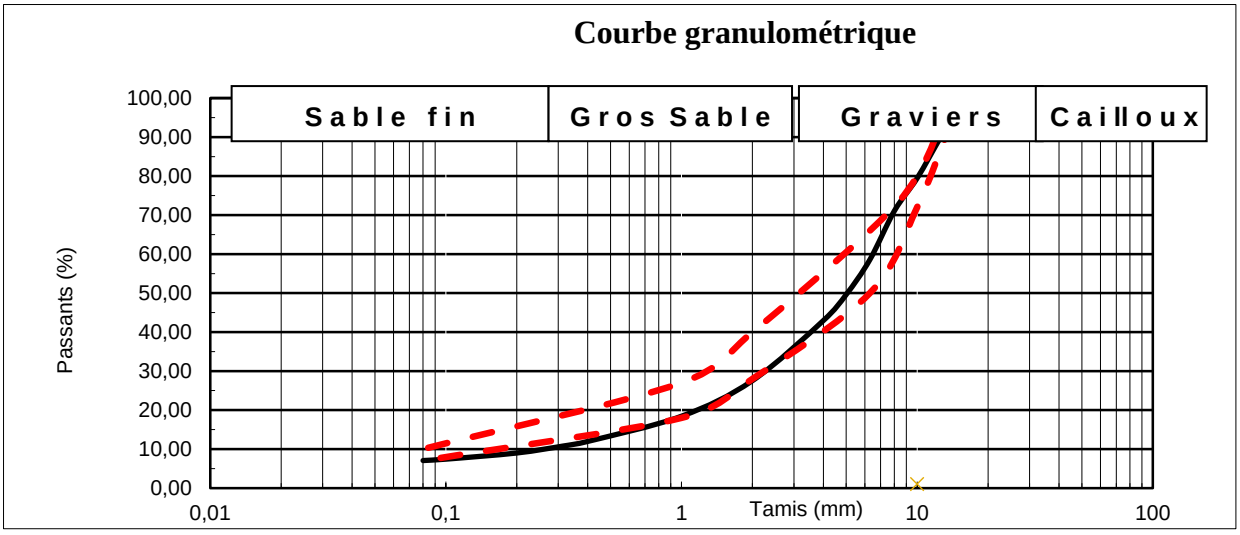


Figure V.8 : courbe de Mélange BB 0/14 dans le fuseau.

2. *Composition du mélange :*

Fraction	Proportion (%)
0/3	43
3/8	25
8/15	32
Bitume 40/50	5.60

Tableau V.25 : Composition du mélange BB 0/14

3. *Essai PCG :*

La teneur en vide à 80 girations est de 8.60%, cette valeur est conforme à la norme EN 13108-1 (Exigence entre 04 & 09%)

NOMBRE DE GIRATIONS	HAUTEUR (mm)	MASSE VOLUMIQUE (Kg/m3)	POURCENTAGE DE VIDE (%)	Spécifications
5	129,37	1911,32	22,69	
10	**124,35**	**1988,47**	**19,57**	**> 11%**
15	121,29	2038,60	17,55	
20	119,10	2076,07	16,03	
25	117,43	2105,60	14,84	
30	116,05	2130,70	13,82	
40	113,99	2169,23	12,26	
50	112,41	2199,62	11,03	
60	111,29	2221,84	10,13	
80	**109,42**	**2259,72**	**8,60**	**4 - 9% classe 03**

Tableau V.26 : PCG BB 0/14

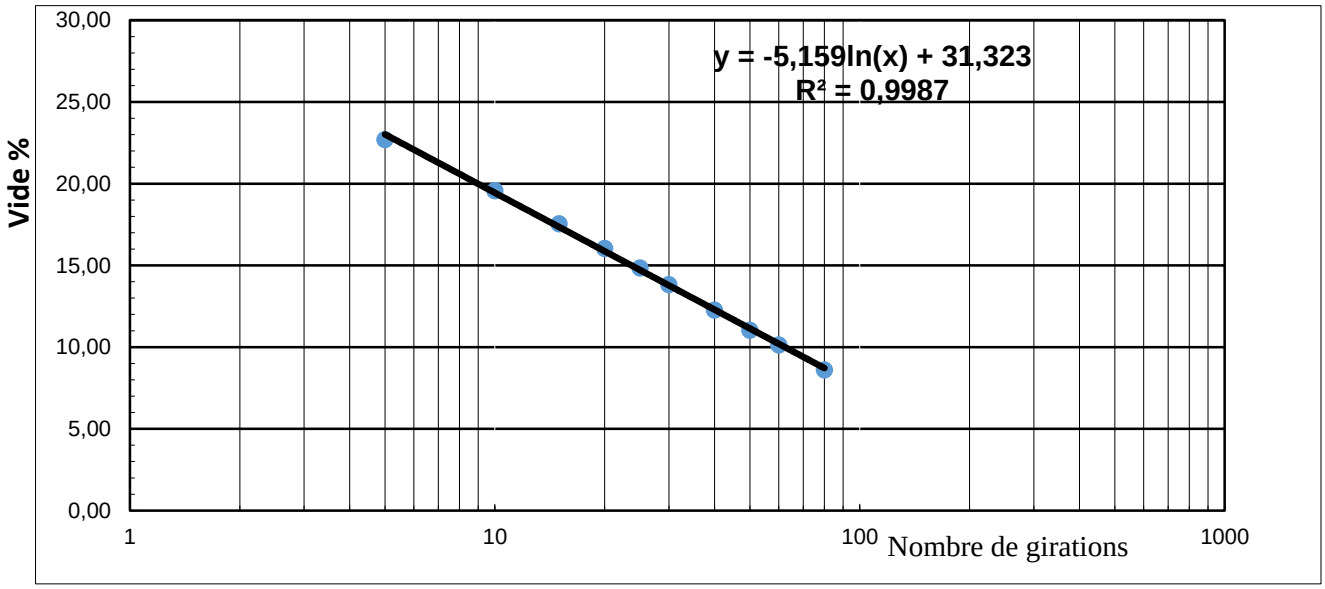


Figure V.9 : Courbe d'évaluation, pourcentage des vides par rapport au nombre de girations.

4. Essai de sensibilité à l'eau à 18° C, Duriez :

Le rapport immersion/sec est de 0.76, conforme à la norme EN 13108-1 (Exigence 0.75 minimum)

		1	2	3	4	5	6
Date de confection	18 - 02	18 - 02	18 - 02	18 - 02	18 - 02	18 - 02	18 - 02
Eprouvette	MVA	Immergée	Immergée	Immergée	Sec	Sec	Sec
Masse, J + 1, g	1001	1002	998,2	1002	1001	1002	998
Epaisseur, mm	90	91,94	91,68	94,97	91,82	90,87	91,38
Diamètre, mm	80	80	80	80	80	80	80
MVa, g/cm3	2,21	2,17	2,17	2,10	2,17	2,19	2,17
MVA, g/cm3	**2,3**	//	//	//	//	//	//

Date d'écrasement	**26 - 06**	**26 - 06**	**26 - 06**	**26 - 06**	**26 - 06**	**26 - 06**
Masse, J + 8, g	**1025**	**1019**	**1028**	**1001**	**1002**	**998**
Imbibition, W, %	**2,30**	**2,08**	**2,59**	//	//	//
Charge de rupture, KN	**30,58**	**29,74**	**31,76**	**40,37**	**40,75**	**40,77**
Résistance en immerssion, r, Mpa	**6,09**	**5,92**	**6,32**	//	//	//
Résistance à sec, R, Mpa	//	//	//	**8,04**	**8,11**	**8,12**
Moyenne, r	**6,11**			//		
Moyenne, R	//			**8,09**		
r/R	**0,76**					
Spécifications	**≥ 0.75**					

Tableau V.27 : sensibilité à l'eau, Duriez BB

5. Essai d'orniérage :

La valeur obtenue est de 4.85%, valeur est conforme à la norme EN 13108-1 (Exigence inférieur à 05%)

Nombre de cycles	**0**	**1000**	**3000**	**10000**	**30000**
Eprouvette A (Profondeur en %)	0,00	2,56	3,29	4,02	4,89
Eprouvette B (Profondeur en %)	0,00	2,67	3,42	4,12	4,81
Moyenne	**0,00**	**2,62**	**3,36**	**4,07**	**4,85**
Spécifications Profondeur moyen d'orniérage / BBSG 0/14 - CLASSE 3					**≤ 5 %**

Tableau V.28 : Orniérage BB

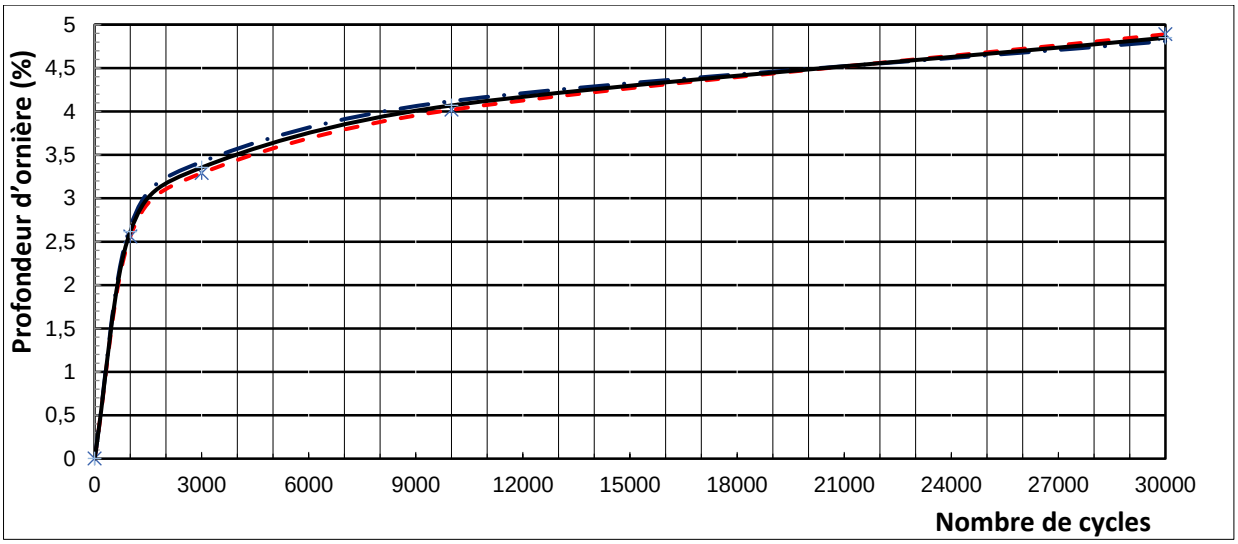
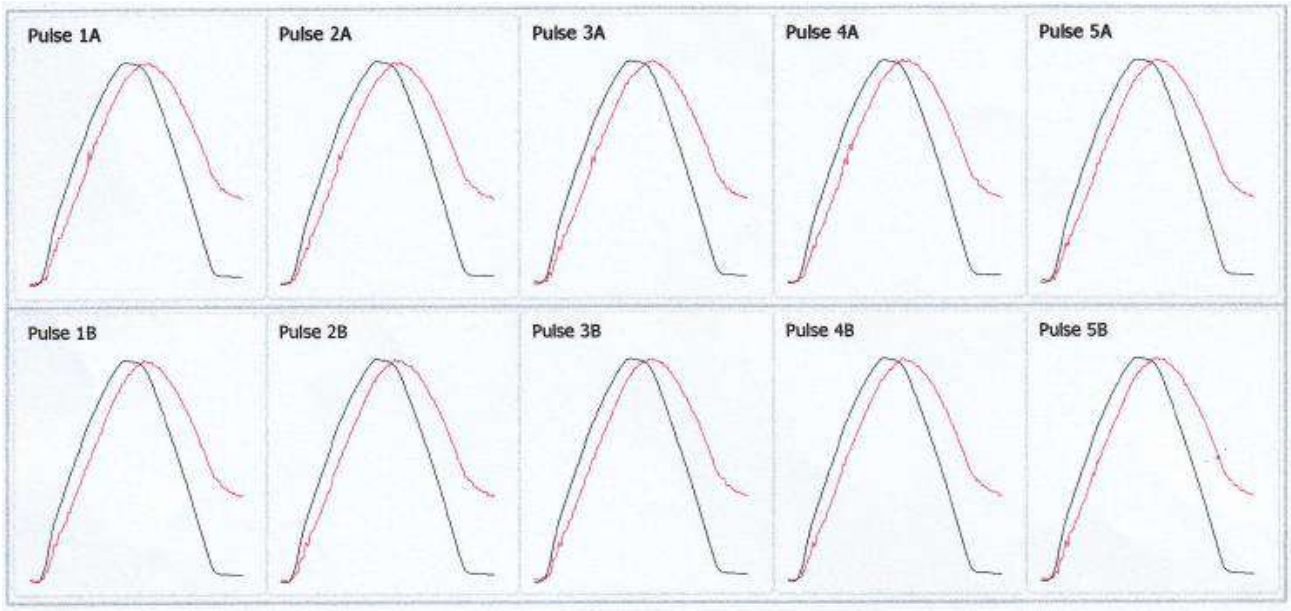


Figure V.10 : Courbe profondeur d'ornière BB proportionnelle en fonction de nombre de cycles

6. Essai de module de rigidité :

La valeur obtenue à 15° C est de 8717 MPa valeur est conforme à la norme EN 13108-1 (Exigence plus de 7000 MPa)



Test Results

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	**Mean A&B**
Load Peak to Peak (kN)	3.77	3.77	3.77	3.77	3.77	3.77	3.73	3.73	3.73	3.73	3.73	3.73	**3.75**
Horizontal Stress (kPa)	375.1	374.9	374.8	375.0	374.8	374.9	371.0	371.1	370.8	370.9	370.9	370.9	**372.9**
Load-Area Factor	0.60	0.60	0.60	0.59	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	**0.60**
Horizontal Deformation (um)	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	**4.2**
Load Rise Time (ms)	124	123	124	125	124	124	124	124	124	124	124	124	**124**
Measured Stiffness (MPa)	8714	8680	8704	8760	8718	8715	8686	8731	8761	8699	8747	8725	**8720**
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	8712	8709	8703	8729	8718	8714	8681	8724	8758	8694	8743	8720	**8717**

Tableau V.29 : Résultat de l'essai de Module de rigidité BB

V.4 Études de formulation enrobée à Module élevé Niveau 3 Classe 2 carrière TAMEZGUIDA :

A. Enrobé à Module élevé EME 0/20 :

L'étude de formulation pour un Enrobé à Module Elevé 0/20, Bitume 40/50 est faite en répondant aux spécifications de la norme NF P 98 – 140

Enrobé constitué de :

- Les granulats 0/3, 3/8, 8/15 et 15/25 provenant de la carrière **TAMEZGUIDA**
- Le Bitume de classe 40/50 (NAFTAL, Alger)
- Additif PVC Broyer

Cette étude rend comptes des résultats :

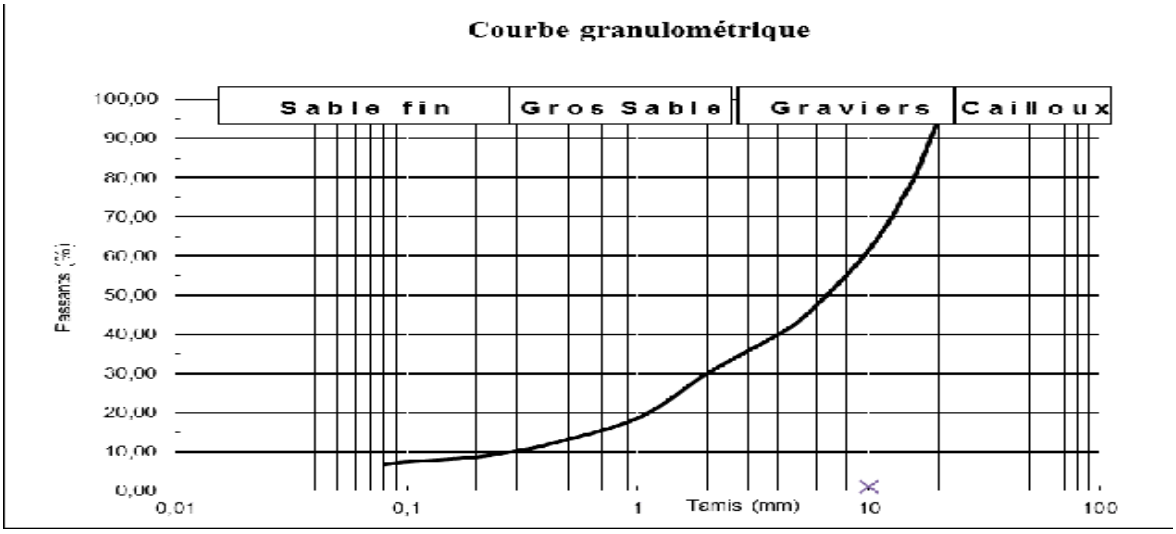
- Essai de la presse à cisaillement Giratoire PCG, EN 12697 – 31
- Essai de la tenue à l'eau à 18° C, Duriez, NF P 98 – 251 – 1
- Essai d'orniérage, EN 12697 - 22
- Essai de module de rigidité, EN 12697 – 26

1. Composition de formulation EME :

Tamis	**Gravier 15/25**		**Gravier 8/15**		**Gravier 3/8**		**Sable 0/3**		**Mélange**	**REF**
en (mm)	100%	**22,0%**	100%	**25,0%**	100%	**15,0%**	100%	**38,0%**	**100,0%**	**EME**
31,5	100,00	22,00	100,00	25,00	100,00	15,00	100,00	38,00	**100,00**	
25	100,00	22,00	100,00	25,00	100,00	15,00	100,00	38,00	**100,00**	
20	73,88	16,25	100,00	25,00	100,00	15,00	100,00	38,00	**94,25**	**85-100**
16	19,20	4,22	94,83	23,71	100,00	15,00	100,00	38,00	**80,93**	
14	7,08	1,56	81,50	20,38	100,00	15,00	100,00	38,00	**74,93**	
12,5	2,68	0,59	64,37	16,09	100,00	15,00	100,00	38,00	**69,68**	
10	0,82	0,18	33,97	8,49	99,60	14,94	100,00	38,00	**61,61**	**65-75**
8	0,50	0,11	13,30	3,33	91,25	13,69	100,00	38,00	**55,12**	
6,3	0,42	0,09	4,00	1,00	65,75	9,86	100,00	38,00	**48,95**	**45-60**
5	0,30	0,07	1,20	0,30	33,99	5,10	100,00	38,00	**43,46**	
4	0,30	0,07	0,47	0,12	14,75	2,21	98,34	37,37	**39,77**	
2	0,30	0,07	0,33	0,08	1,70	0,26	78,04	29,66	**30,06**	**25-40**
1	0,30	0,07	0,33	0,08	0,60	0,09	48,36	18,38	**18,62**	
0,4	0,30	0,07	0,33	0,08	0,60	0,09	30,38	11,54	**11,78**	
0,315	0,30	0,07	0,33	0,08	0,60	0,09	27,13	10,31	**10,55**	
0,2	0,30	0,07	0,33	0,08	0,60	0,09	22,16	8,42	**8,66**	
0,1	0,30	0,07	0,33	0,08	0,60	0,09	18,98	7,21	**7,45**	
0,08	0,30	0,07	0,33	0,08	0,60	0,09	17,14	6,51	**6,75**	**6-9**
Mv	**2,670**		**2,680**		**2,690**		**2,670**		**MVRG =**	**2,675**

Paramètres à introduire:	**Liant = 5,40**	**D (liant) : 1,03**
	Additif = 0,50	**D (add) : 0,96**
Résultats obtenus:	**K = 3,401 ≥ 3.4**	**MVRE = 2,455**

Tableau V.30 : Mélange EME



FigureV.11 : Courbe de Mélange EME

2. *Composition du mélange :*

Fraction	Proportion (%)
Sable 0/3	38
Gravier 3/8	15
Gravier 8/15	25
Gravier 15/25	22
Bitume 40/50	5.4
PVC	0.5

Tableau V.31 : Composition du mélange EME.

3. *Essai PCG :*

La teneur en vide à 120 girations est de 4.97%, cette valeur est conforme à la norme NF P 98 – 140 (Exigence inferieur ou égale à 06%)

NOMBRE DE GIRATIONS	HAUTEUR (mm)	MASSE VOLUMIQUE (Kg/m3)	POURCENTAGE DE VIDE (%)	Spécifications
5	184,37	1996,00	18,64	
10	178,44	2062,33	15,93	
15	174,86	2104,48	14,21	
20	172,35	2135,20	12,96	
25	170,41	2159,41	11,97	
30	168,84	2179,59	11,15	
40	166,39	2211,70	9,84	
50	164,52	2236,83	8,82	
60	163,00	2257,59	7,97	
80	160,78	2288,82	6,70	
100	159,14	2312,43	5,74	
120	**157,85**	**2331,32**	**4,97**	**≤ 6%**

Tableau V.32 : PCG EME

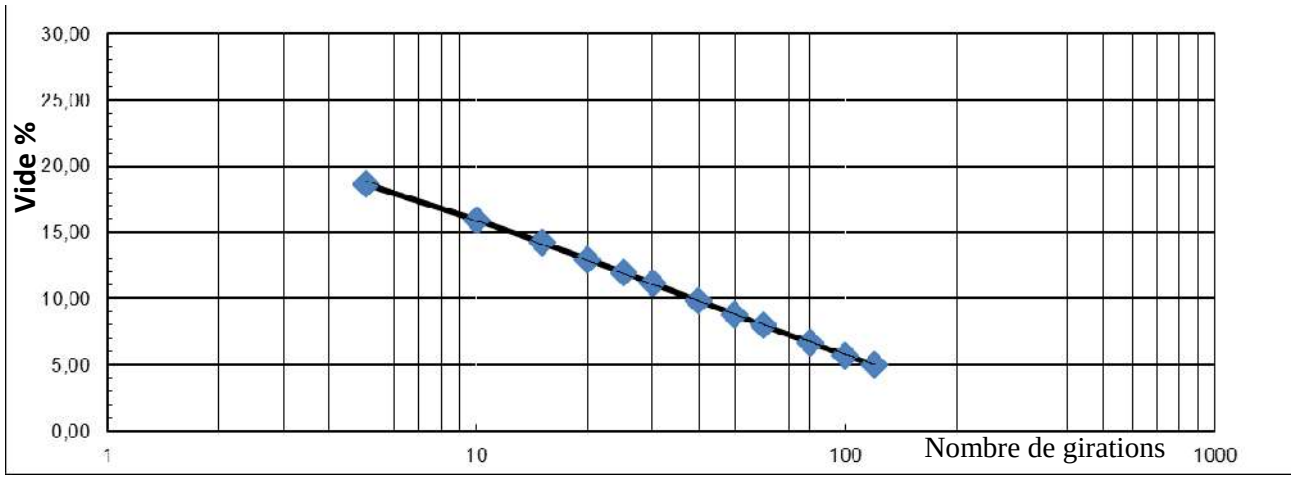


Figure V.12 : Courbe d'évaluation, pourcentage des vides par rapport au nombre de girations

4. Essai de sensibilité à l'eau à 18° C, Duriez

Le rapport immersion/sec est de 0.91, conforme à la norme NF P 98 – 251
(Exigence 0.75 minimum)

		1	2	3	4	5	6
Date de confection	03 - 03	03 - 03	03 - 03	03 - 03	03 - 03	03 – 03	03 – 03
Eprouvette	MVA	Immergée	Immergée	Immergée	Sec	Sec	Sec
Masse, J + 1, g	3503,14	3516,9	3487,7	3474,5	3504,4	3484,3	3418,6
Epaisseur, mm	140,25	141,65	139,71	136,67	140,66	135,2	135,93
Diamètre, mm	120	120	120	120	120	120	120
MVa, g/cm3	2,21	2,20	2,21	2,25	2,20	2,28	2,22
MVA, g/cm3	**2,33**	//	//	//	//	//	//

Date d'écrasement	**10 - 03**	**10 - 03**	**10 - 03**	**10 - 03**	**10 – 03**	**10 – 03**
Masse, J + 8, g	**3581,4**	**3550,2**	**3523**	**3504,4**	**3484,3**	**3418,6**
Imbibition, W, %	**1,83**	**1,79**	**1,39**	//	//	//
Charge de rupture, KN	**98,08**	**98,91**	**122**	**117,9**	**108,5**	**125,3**
Résistance en immerssion, r, Mpa	**8,68**	**8,75**	**10,79**	//	//	//
Résistance à sec, R, Mpa	//	//	//	**10,43**	**9,59**	**11,09**
Moyenne, r	**9,41**			//		
Moyenne, R	//			**10,37**		
r/R	**0,91**					
Spécifications	**≥ 0.75**					

Tableau V.33 : Sensibilité à l'eau Duriez EME

5. *Essai d'orniérage*

La valeur obtenue est de 4.35%, valeur est conforme à la norme NF P 98 – 140 (Exigence inférieur à 07.50%)

Nombre de cycles	0	30	100	300	1000	3000	10000	30000
Eprouvette A (Profondeur en %)	0,00	1,02	1,45	1,70	2,12	2,69	3,71	4,36
Eprouvette B (Profondeur en %)	0,00	0,73	1,16	1,41	1,89	2,48	3,20	4,33
Moyenne	**0,00**	**0,88**	**1,31**	**1,56**	**2,01**	**2,59**	**3,46**	**4,35**
Spécifications Profondeur moyen d'orniérage / EME 0/20 - CLASSE 2						**≤ 7,5 %**		

Tableau V.34 : orniérage EME

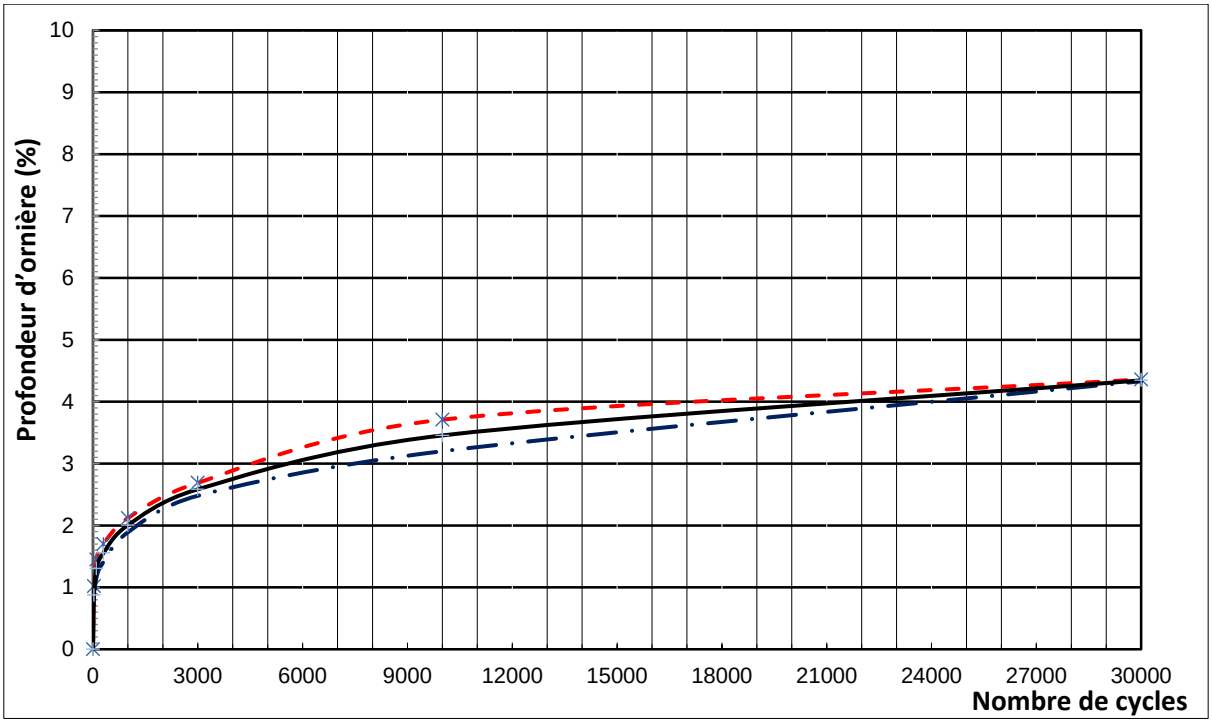
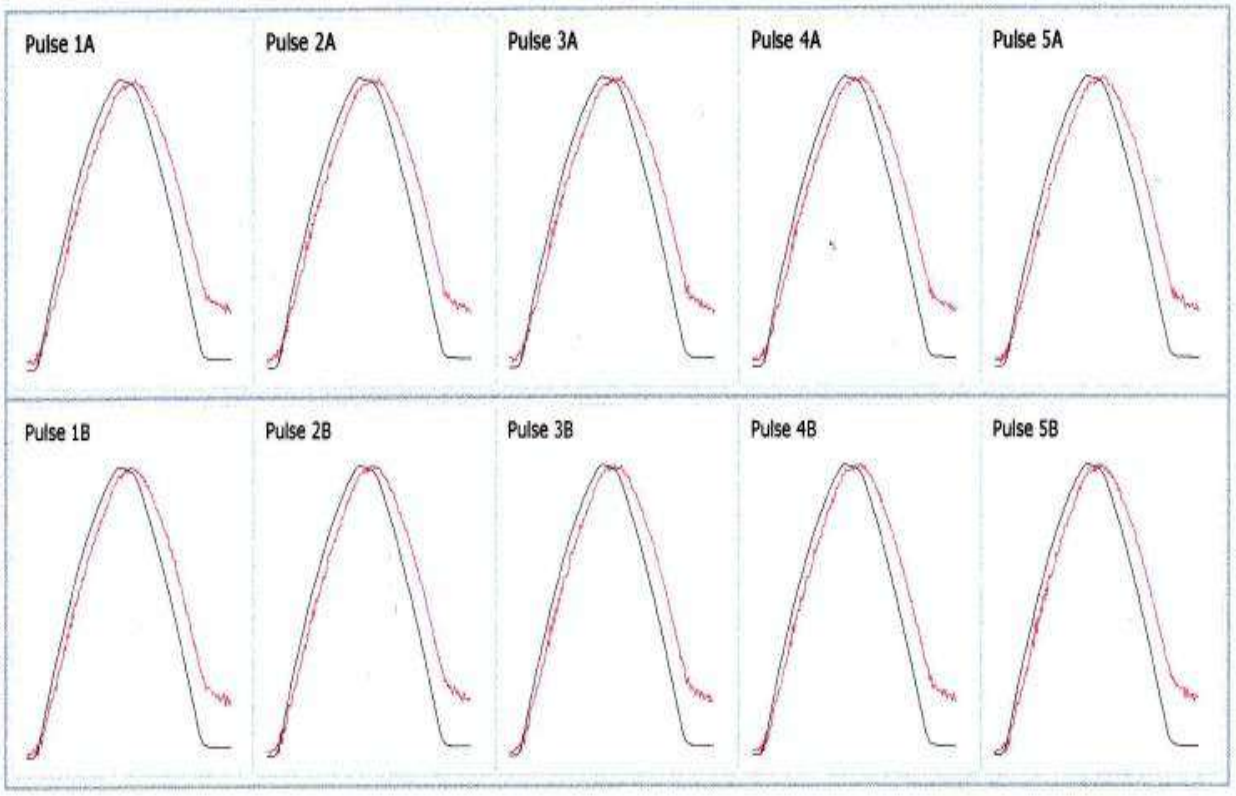


Figure V.13 : Courbe profondeur d'ornière EME proportionnelle en fonction de nombre de cycles.

6. ***Essai de module de rigidité :***

La valeur obtenue à 15° C est de 15514 MPa valeur est conforme à la norme NF P 98 – 140 (Exigence plus de 14000 MPa)



Test Results

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	**Mean A&B**
Load Peak to Peak (kN)	5.14	5.14	5.14	5.14	5.14	5.14	5.15	5.14	5.14	5.15	5.15	5.15	**5.14**
Horizontal Stress (kPa)	519.6	519.2	519.3	519.6	519.7	519.5	520.0	519.7	519.7	520.1	520.0	519.9	**519.7**
Load-Area Factor	0.59	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	**0.59**
Horizontal Deformation (um)	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	**3.2**
Load Rise Time (ms)	125	126	125	125	126	125	124	124	124	124	124	124	**125**
Measured Stiffness (MPa)	15613	15470	15481	15585	15445	15519	15688	15661	15634	15613	15573	15634	**15576**
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	15554	15459	15428	15528	15431	15480	15603	15579	15551	15526	15488	15549	**15514**

Tableau V.35 : Résultat de l'essai de Module de rigidité EME

B. Formulation BBME Niveau 3 Classe 3 carrière TAMEZGUIDA :

L'étude de formulation pour un Béton Bitumineux à Module Elevé 0/14, Bitume 40/50 est faite en répondant aux spécifications de norme NF P 98 – 141

Enrobé constitué de:

- Les granulats 0/3, 3/8 et 8/15 provenant de la carrière TAMEZGUIDA
- Le Bitume de classe 40/50 (NAFTAL, Alger)
- PVC Broyer

Cette étude rend comptes des résultats :

- Essai de la presse à cisaillement Giratoire PCG, EN 12697 – 31
- Essai de la tenue à l'eau à 18° C, Duriez, NF P 98 – 251 – 1
- Essai d'orniérage, EN 12697 - 22
- Essai de module de rigidité, EN 12697 – 26

1. Composition de formulation BBME :

Tamis	**Gravier 8/15**		**Gravier 3/8**		**Sable 0/3**		**Mélange**	**REF**
en (mm)	100%	**32,0%**	100%	**28,0%**	100%	**40,0%**	**100,0%**	**BBME**
31,5	100,00	32,00	100,00	28,00	100,00	40,00	**100,00**	
25	100,00	32,00	100,00	28,00	100,00	40,00	**100,00**	
20	100,00	32,00	100,00	28,00	100,00	40,00	**100,00**	
16	94,83	30,35	100,00	28,00	100,00	40,00	**98,35**	
14	81,50	26,08	100,00	28,00	100,00	40,00	**94,08**	**94 - 100**
12,5	64,37	20,60	100,00	28,00	100,00	40,00	**88,60**	
10	33,97	10,87	99,60	27,89	100,00	40,00	**78,76**	**72-80**
8	13,30	4,26	91,25	25,55	100,00	40,00	**69,81**	
6,3	4,00	1,28	65,75	18,41	100,00	40,00	**59,69**	**50-66**
5	1,20	0,38	33,99	9,52	100,00	40,00	**49,90**	
4	0,47	0,15	14,75	4,13	97,62	39,05	**43,33**	
2	0,33	0,11	1,70	0,48	61,49	24,60	**25,18**	**28-40**
1	0,33	0,11	0,60	0,17	37,14	14,86	**15,13**	
0,4	0,33	0,11	0,60	0,17	21,28	8,51	**8,79**	
0,315	0,33	0,11	0,60	0,17	18,90	7,56	**7,83**	
0,2	0,33	0,11	0,60	0,17	14,99	6,00	**6,27**	
0,1	0,33	0,11	0,60	0,17	12,05	4,82	**5,09**	
0,08	0,33	0,11	0,60	0,17	11,32	4,53	**4,80**	**7-10**
Mv	**2,680**		**2,690**		**2,670**		**MVRG = 2,679**	
Paramètres à introduire:			**Liant = 5,40**				**D (liant) = 1,03**	
			Additif = 0,4				**D (ADD) = 0,94**	
Résultats obtenus:			**K = 3,589≥3.3**				**MVRE = 2,461**	

Tableau V.36 Mélange BBME

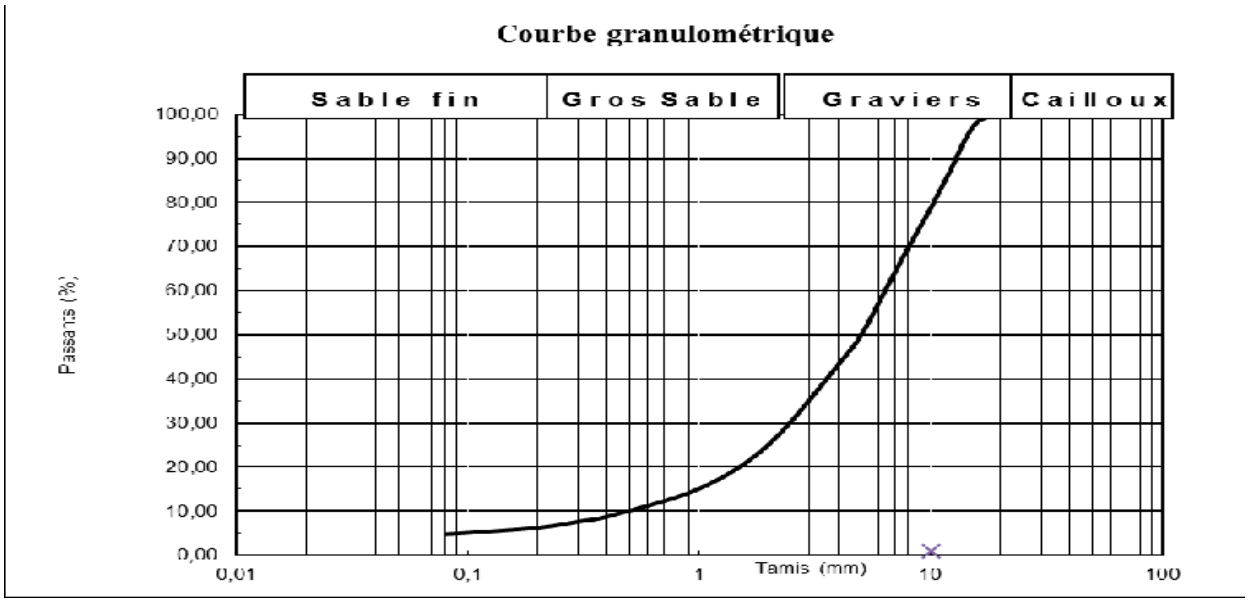


Figure V.14 : Courbe de Mélange BBME

2. Composition du mélange :

Fraction	Proportion (%)
Sable 0/3	40
Gravier 3/8	28
Gravier 8/15	32
Bitume 40/50	5.40
PR MODULE	0.5

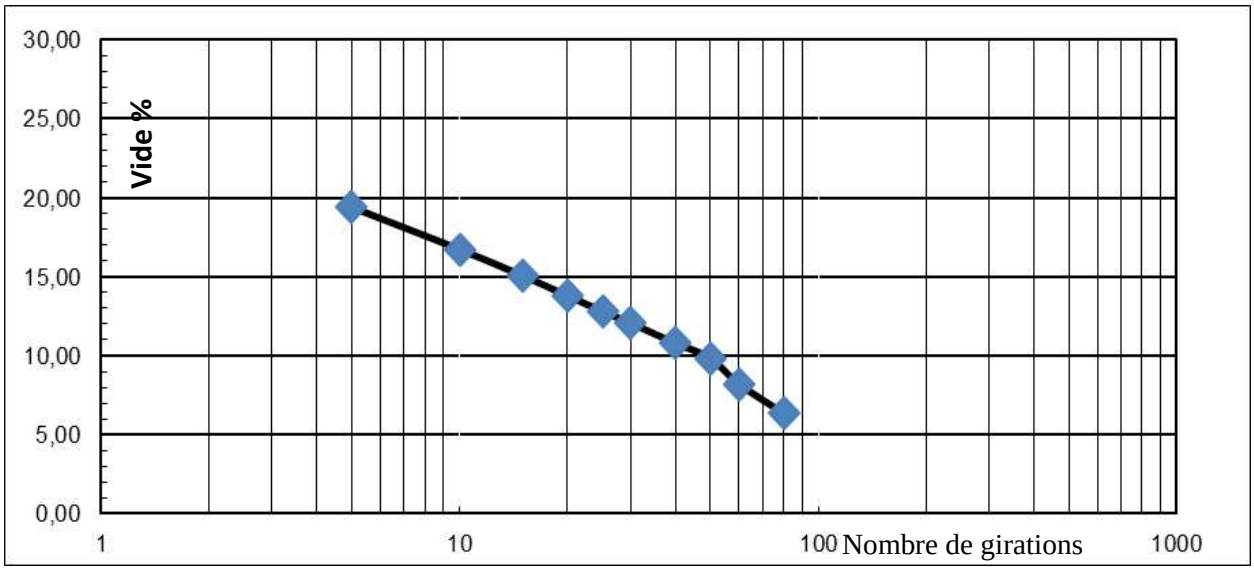
Tableau VI.37 : Composition du mélange BBME

3. Essai PCG :

La teneur en vide à 80 girations est de 6.36%, cette valeur est conforme à la norme EN 13108 (Exigence entre 04% et 09%)

NOMBRE DE GIRATIONS	HAUTEUR (mm)	MASSE VOLUMIQUE (Kg/m3)	POURCENTAGE DE VIDE (%)	Spécifications
5	124,09	1973,20	19,40	
10	**120,11**	**2038,58**	**16,73**	**> 11**
15	117,74	2079,50	15,06	
20	116,03	2110,28	13,80	
25	114,70	2134,71	12,81	
30	113,73	2152,93	12,06	
40	112,11	2183,98	10,79	
50	110,94	2206,97	9,85	
60	109,97	2258,70	8,22	
80	**108,55**	**2304,48**	**6,36**	**4 – 9**

Tableau V.38 : PCG BBME



FigureV.15 : Courbe d'évaluation, pourcentage des vides par rapport au nombre de girations

4. Essai de sensibilité à l'eau à 18° C, Duriez

Le rapport immersion/sec est de 0.9, conforme à la norme EN 13108
(Exigence 0.80 minimum)

		1	2	3	4	5	6
Date de confection	21 - 03	21 - 03	21 – 03	21 - 03	21 – 03	21 - 03	21 - 03
Eprouvette	MVA	Immergée	Immergée	Immergée	Sec	Sec	Sec
Masse, J + 1, g	3501	3495	3483	3452	3450	3502	3481
Epaisseur, mm	133	134,9	135,1	131,8	132	133,6	134,6
Diamètre, mm	120	120	120	120	120	120	120
MVa, g/cm3	2,33	2,29	2,28	2,32	2,31	2,32	2,29
MVA, g/cm3	**2,36**	//	//	//	//	//	//

Date d'écrasement	**29 - 03**	**29 - 03**	**29 - 03**	**29 - 03**	**29 - 03**	**29 – 03**
Masse, J + 8, g	**3549**	**3535**	**3498**	**3450**	**3502**	**3481**
Imbibition, W, %	**1,54**	**1,48**	**1,32**	//	//	//
Charge de rupture, KN	**139**	**126**	**140**	**143**	**149**	**147**
Résistance en immerssion, r, Mpa	**12,33**	**11,12**	**12,37**	//	//	//
Résistance à sec, R, Mpa	//	//	//	**12,69**	**13,16**	**12,99**
Moyenne, r	**11,94**			//		
Moyenne, R	//			**12,95**		
r/R	**0,92**					
Spécifications	**≥ 0.8**					

TableauV.39 : sensibilité à l'eau Duriez BBME

5. *Essai d'orniérage :*

La valeur obtenue est de 4.85%, valeur est conforme à la norme EN 13108 (Exigence inférieur à 05%)

Nombre de cycles	0	1000	3000	10000	30000
Eprouvette A (Profondeur en %)	0,00	1,93	2,08	2,80	3.3
Eprouvette B (Profondeur en %)	0,00	2,11	2,4	2.90	3.7
Moyenne	**0,00**	**2,02**	**2,24**	**2.85**	**3.5**

Tableau V.40 : Orniérage BBME

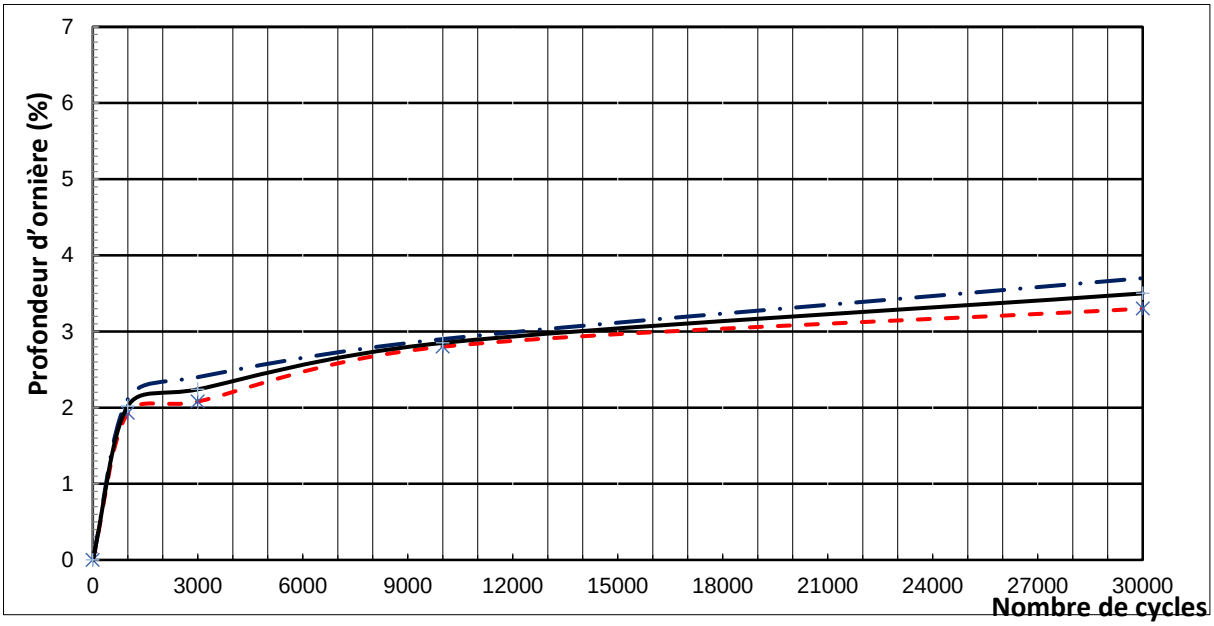
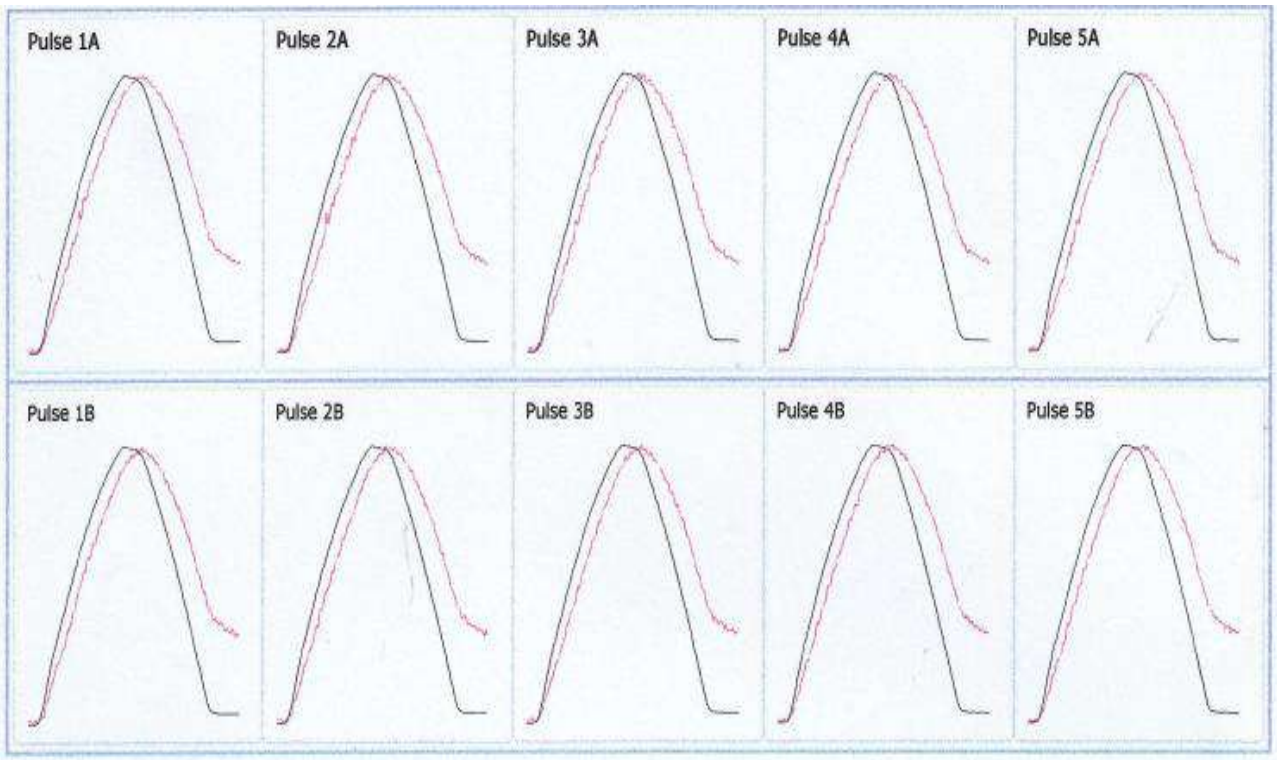


Figure V.16 : Courbe profondeur d'ornière BBME proportionnelle en fonction de nombre de cycles

6. ***Essai de module de rigidité :***

La valeur obtenue à 15° C est de 12481 MPa valeur est conforme à la norme EN 13108 (Exigence plus de 12000 MPa)



Test Results

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	**Mean A&B**
Load Peak to Peak (kN)	4.54	4.54	4.54	4.54	4.54	4.54	4.57	4.57	4.56	4.56	4.56	4.56	**4.55**
Horizontal Stress (kPa)	440.4	440.5	440.6	440.7	440.7	440.6	442.8	442.7	442.6	442.3	442.2	442.5	**441.5**
Load-Area Factor	0.59	0.59	0.59	0.60	0.60	0.59	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	**0.60**
Horizontal Deformation (um)	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	**3.5**
Load Rise Time (ms)	125	125	125	125	125	125	123	123	124	124	124	124	**124**
Measured Stiffness (MPa)	12750	12556	12531	12532	12586	12591	12377	12400	12375	12450	12455	12411	**12501**
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	12699	12507	12484	12487	12542	12544	12414	12437	12363	12436	12443	12418	**12481**

Tableau V.41 : Résultat de l'essai de Module de rigidité BBME

CHAPITRE VI

ÉTUDE COMPARATIVE ENTRE LES ENROBÉS CLASSIQUE ET LES ENROBÉS À MODULE ÉLEVÉ

VI.1 Comparaison financière :

1- Calcul de prix de vente :

Pv = Ps+ α*Pv
Pv = Ps*(1/(1- α))
Pv = **K*PS**
K = (1/(1- α))

Dont :

Pv : le prix de vente, **Ps** : le prix sec, K : le coefficient de règlement,
α: la somme des charges indirecte en pourcentage

a. le coefficient de règlement K :

	Désignation	U	Qts
α	Les frais de siège	%	5
	les frais financiers	%	4
	la TAP	%	2
	les Aléas	%	3
	le bénéfice	%	15
Total en %			29
K : le coefficient de règlement			**1,4**

Tableau VI.1 : coefficient de règlement.

b. Prix Grave bitume :

	Désignation	U	Qts	P U	Montant
1	Production d'agrégats	T	1,000	500,00	500,00
2	Transport d'agrégats	T	1,000	100,00	100,00
3	Bitume (4,6%) y compris Transport	T	0,046	40 000,00	1 840,00
4	Fabrication d'enrobé	T	1,000	300,00	300,00
5	Transport d'enrobé sur chantier	T	1,000	100,00	100,00
6	Mise en Œuvre D'enrobé	T	1,000	300,00	300,00
Total pris sec					3 140,00
K					1,4
Total Pris de vente					4 396,00
Prix Grave bitume					**4 400 DA**

Tableau VI.2 : Prix Grave bitume GB.

c. Prix béton bitumineux :

	désignation	U	Qts	P U	Montant
1	Production d'agrégats	T	1,000	500,00	500,00
2	Transport d'agrégats	T	1,000	100,00	100,00
3	Bitume 5,6% y compris Transport	T	0,056	40 000,00	2 240,00
4	Fabrication d'enrobé	T	1,000	300,00	300,00
5	Transport d'enrobé sur chantier	T	1,000	100,00	100,00
6	Mise en Œuvre D'enrobé	T	1,000	300,00	300,00
Total pris sec					3 540,00
K					1,4
Total Pris de vente					4 956,00
Prix béton bitumineux					**5 000 DA**

Tableau VI.3 : Prix béton bitumineux BB.

d. Prix enrobés à module élevé (EME et BBME) :

	désignation	U	Qts	P U	Montant
1	Production d'agrégats	T	1	500	500
2	Transport d'agrégats	T	1	100	100
3	Bitume 5,4 % y compris Transport	T	0,054	40 000	2160
4	Prix du Polymère (PVC)/ T	Kg	5	100	500
5	Fabrication d'enrobé	T	1	300	300
6	Transport d'enrobé sur chantier	T	1	100	100
7	Mise en Œuvre D'enrobé	T	1	300	300
Total pris sec					3 960,00
K					1,4
Total Pris de vente					5 544,00
Prix EME et BBME					**5 550DA**

Tableau VI.4 : Prix EME et BBME.

e. Corps de chaussé retenu pour les deux variantes :

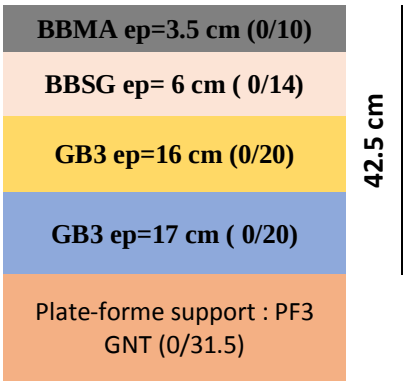


Figure VI.1 Chaussée avec enrobé classique

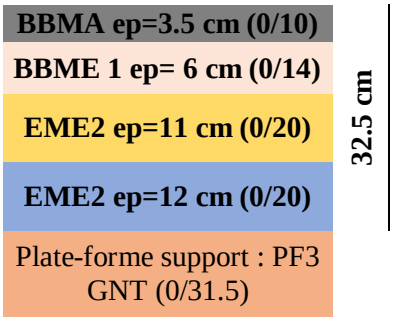


Figure VI.2 : Chaussée avec enrobé à module élevé

2. Différence de prix pour un (01) km :

Montant pour Un (01) KM avec un corps de chassée à enrobé classique

désignation	dimensions	quantité enrobé pour 01 km (T)	Prix unitaire	Montant pour 01 km (DA)
GB	1000*26*0,33	20 592	4 400	**90 604 800,00**
BB	1000*26*0,095	5 928	5 000	**29 640 000,00**
Total				**120 244 800,00**

Montant pour Un (01) KM avec un corps de chaussée enrobé à Module élevé

désignation	dimensions	quantité enrobé pour 01 km (T)	Prix unitaire	Montant pour 01 km (DA)
EME	1000*26*0,23	14 352	5 550	**79 653 600,00**
BBME	1000*26*0.095	5 928	5 550	**32 900 400,00**
Total				**112 554 000,00**
différence de prix				**7 690 800,00**
Augmentation de Prix en %				**6,83%**

Tableau VI.5 : Différence de prix pour un (01) km :

L'utilisation des enrobés à Module élevé permet de réduire le prix pour (01) un km à **6.83%** qui représente **7 690 800,00 (DA)/ km,** aussi de réduire les épaisseurs des couches d'assises « couche de fondation et couche de base » d'environ 28 %, et Les quantités des matériaux sont diminuées d'une façon immense ainsi le délai de réalisation.

VI.2 Comparaison technique :

1. Comparaison d'orniérage entre les enrobé à Module élevé et les enrobé classique :

a. ***orniérage pour couche de fondation et de base*** **:**

Nombre de cycles	orniérage en % enrobé 0/25	
	GB	EME
0	0	0
1000	2,76	2,01
3000	4,42	2,59
10000	6,23	3,46
30000	8,6	4,35

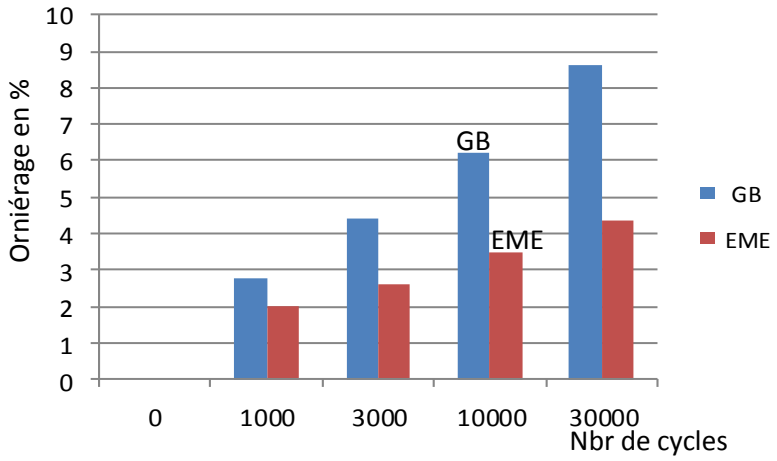


Figure VI.3 : Différence d'orniérage entre GB et EME

b. ***Orniérage pour Couche de roulement*** :

Nombre de cycles	orniérage en % enrobé 0/14	
	BB	BBME
0	0	0
1000	2,62	2,02
3000	3,36	2,24
10000	4,07	2,85
30000	4,85	3.5

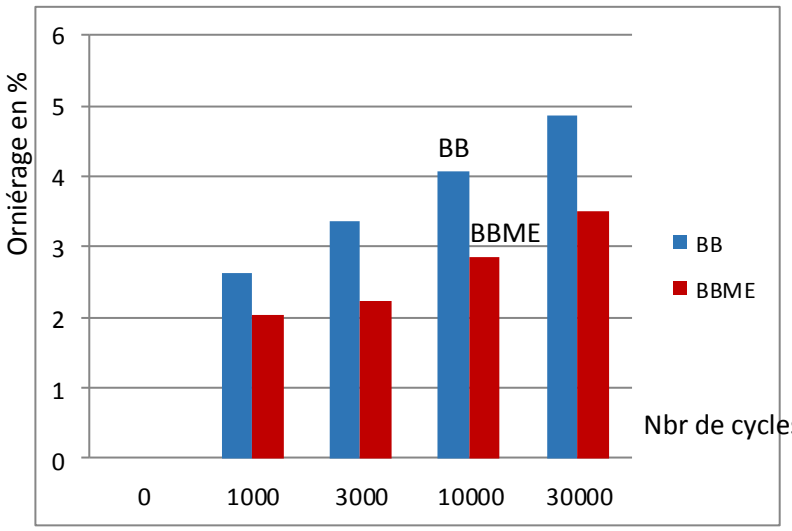


Figure VI.4 : Différence d'orniérage entre BB et BBME.

L'ajout des résidus de PVC broyé aux enrobés bitumineux, augmente la résistance à l'orniérage. La profondeur d'ornière diminue environ **60%** pour une teneur de **0.5%.** L'additif (PVC) diminue les déformations permanentes de la chaussée et augmente la durée de vie de la chaussée bitumineuse.

2. *Comparaison de Module entre les enrobé à Module élevé et les enrobé classique :*

a- *Module pour Couche de roulement* :

Couche de roulement	Module de rigidité (Mpa)
Biton bitumineux (BB)	**8 717**
Biton bitumineux à module élevé (BBME)	**12 481**
Différence module	**+3 764**
Taux d'augmentation de module	**43,18%**

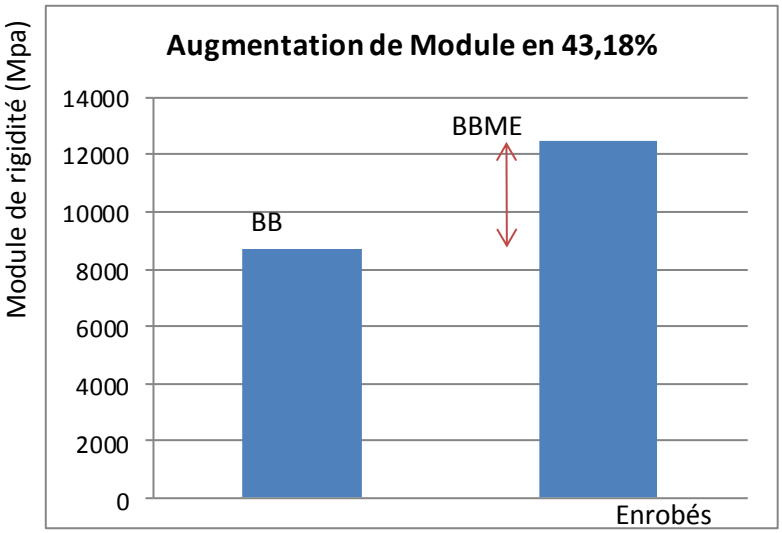


Figure VI.5 : Différence de Module entre BB et BBME.

b- *Module pour couche de fondation et de base* :

couche de fondation et de base	Module de rigidité (Mpa)
Grave bitume (GB)	**11 135**
Enrobé à module élevé (EME)	**15 514**
Différence module	**+4 379**
Taux d'augmentation de module	**39,33 %**

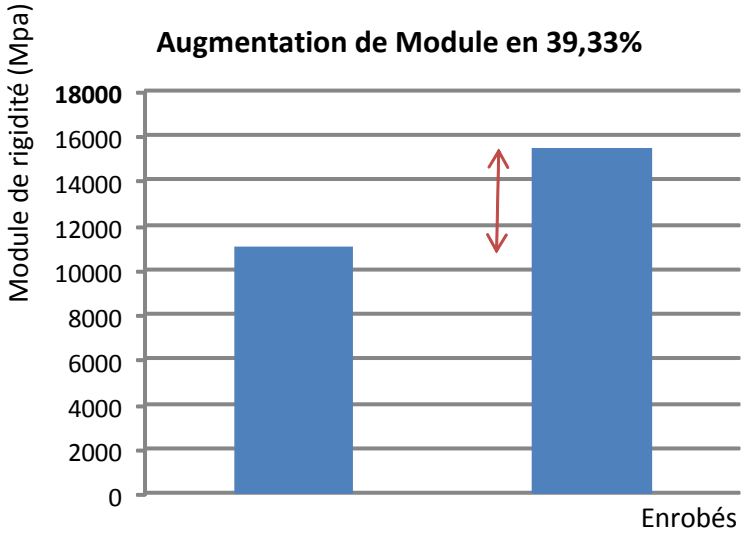


Figure VI.6 : Différence de Module entre GB et EME.

Le module complexe des enrobés bitumineux augmente d'environ de **40%** après l'ajout des résidus de PVC broyé. L'augmentation du module complexe permet d'améliorer la rigidité et la résistance en traction des couches d'assise et par voie de conséquence une forte atténuation des contraintes verticales transmises au support.

CONCLUSION GÉNÉRALE ET RECOMMANDATIONS

1. Conclusion Générale

Le dimensionnement d'une structure de chaussée routière consiste à déterminer la nature et l'épaisseur des couches qui la constituent afin qu'elle puisse résister aux diverses agressions auxquelles elle sera soumise tout au long de sa vie ; les principaux paramètres intervenir dans le dimensionnement sont :

- la vocation de la voie
- le trafic poids lourds (PL)
- l'agressivité du trafic PL
- la durée de service
- le classement géotechnique des sols naturels
- l'état hydrique du sol support sensible à l'eau

D'après notre étude de dimensionnement de corps de chaussée nous sommes conclus que :

1- Les résultats obtenus par le logiciel de calcul numérique ALIZÉ- sont fiable et logique ; il réduit les difficultés lors du calcul des contraintes et déformations (σ_t, σ_z, ε_t, ε_z) des différents niveaux de la structure,

2- L'ajout de **0,5%** des polymères (résidus des PVC broyé) pour les enrobés à modules élevé répand aux exigences d'une formulation niveau 03 classe 02 et conduit à des performances tout à fait intéressantes notamment aux niveaux des propriétés mécaniques par rapport à l'enrobé classique telle que :

- Hautes performances du Module et Orniérage (Augmente le module 40%, et diminue la profondeur d'ornière 60**%**)
- Meilleure adhésion bitume-agrégats
- Réduction des épaisseurs des couches d'environ **28 %**
- Réduire le prix de réalisation pour (01) un km à **6 ,83%** qui représente **7 690 800,00 (DA)/km**
- Réduction du délai de réalisation des travaux.
- Ralentisseur de vieillissement et longévité élevée des routes
- Impact environnemental réduit

2. Recommandations pour la mise en œuvre des enrobés :

- La station d'enrobage doit être installée pris du chantier ou de préférence au milieu du projet dans un rayon qui ne dépasse pas les 50kms
- Le stockage des polymères nécessite un soin particulier. Elles doivent être protégées de la pluie et de l'humidité excessive car les poudrettes mouillées ont tendance à s'agglomérer en paquets qui ne se dispersent pas dans le mélange bitumineux.
- La température de fabrication des enrobés à module élevé est entre 160° et 170°
- la température extérieure doit être de 10°C et plus lors de la pose
- la réalisation d'une planche d'essais est obligatoire avant la réalisation de n'importe quelle couche d'enrobé.
- la vitesse d'avancement du finisseur doit être ajustée au débit de la centrale de production.
- la température de l'enrobé dans les vis du finisseur doit être supérieure à 150°C.
- le compactage s'effectue à l'aide de rouleaux compacteurs de grande capacité et ceux-ci doivent circuler le plus près possible du finisseur.
- le compactage s'effectue principalement en mode vibration. La vibration doit être à grande amplitude lors des premiers passages.

3. Les perspectives envisagées :

- Les effets de l'utilisation des résidus plastomère sur la performance des enrobés.
- Réduction des épaisseurs des couches bitumineuses par l'augmentation du niveau de la plate de forme PF3 à PF4 (120 MPA à 200 MPA) on utilisant des traitements de la couche de forme par des liants hydraulique ou à chaux
- Élaboration des études des fillers dans les enrobés (amélioration chimique) peux augmenter les caractéristique mécanique des enrobés.
- L'effet du choix des agrégats avec une meilleure caractéristique mécanique sur la performance des enrobés.

BIBLIOGRAPHIE

- [Delorme, 1996] – *Les enrobés à module élevé EME) : description, usages, performances* – JL. DELORME, V. GOYON, M. GAVALDA – EURASPHALT & EUROBITUME Congress, vol 8, n°196, 1996
- [Chauvin, 1990] – *L'essai de module complexe utilisé pour la formulation des enrobés* – JJ. CHAUVIN – Proceedings 4th Rilem Symposium, Budapest, 1990
- [Ballié, 1990] – *Formulation des enrobés – Bilan des essais à la presse à cisaillement giratoire (PCG)* – M.BALLIE, JL.DELORME, R.HIERNAUX, F.MOUTIER-; Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées n°170, nov-dec 1990.
- [Grimaux, Hiernaux, 1977] – Utilisation de l'orniéreur type LPC – JP. GRIMAUX, R. HIERNAUX – Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées – Special V, LCPC, p. 165-172 – Paris ,1977
- Moutier, 1992] – *Utilisation de la Presse à Cisaillement Giratoire et de l'orniéreur dans la méthode française de formulation des enrobés bitumineux* – F. MOUTIER – Proceedings of 5th Eurobitume congress, vol 1B, Stockholm juin 1992
- [Delorme, 2000] – *Correspondance entre les caractéristiques mesurées sur des matériaux de laboratoire et sur des matériaux prélevés sur chantier – Module de rigidité* – JL. DELORME, L. WENDLING, C. DE LA ROCHE, Y. BROSSEAUD, N. RIVIERE, C. LEROUX – EUROBITUME Barcelone, 2000
- [Di Benedetto, Corté, 2005] – *Mécanique et ingénierie des matériaux – Matériaux routiers bitumineux 1 – Constitution et propriétés thermomécaniques des mélanges* – H. DI BENEDETTO, JF. CORTE – Hermes Sciences, 2005
- *[Usirf, 2001]* - *Les enrobés bitumineux Tome 1* – USIRF – RGRA – déc. 2001
  [Usirf, 2003] - *Les enrobés bitumineux Tome 2* – USIRF – RGRA – déc. 2003
- (1998 SETRA/LCPC)-*Catalogue des Structures Type de Chaussées Neuves*
- (CTTP 2001) -*Catalogue de dimensionnement des chaussé neuves*- (fascicule 1, 2,3).
- Étude d'exécution de l'entreprise chinoise **C.S.C.E.C.**
- Étude préliminaire et étude APD (projet dédoublement de la RN01 entre chifa et Boughzoul) - bureau d'étude espagnol **TEC4.**
- Guide technique-Construction des chaussées neuves sur le réseau routier national-Spécifications des variantes (2003 SETRA).
- Assises de chaussées-Guide d'application des normes pour le réseau routier national (1998 SETRA/LCPC);
- Guide technique de conception et dimensionnement des structures de chaussée.
- Cours de route ENTPE (LYON).
- Guide des terrassements routier GTR (SETRA / LCTP)
- Projet et construction de routes (*par* **Jean BERTHIER** *Professeur à l'École Nationale des Ponts et Chaussées)*
- Eurocode 07.
- Le code de la route.

LISTE DES NORMES UTILISEES

Norme	Titre
NF EN 933-1	Essais pour déterminer les propriétés générales des granulats – Partie 1 : détermination de la granularité – Analyse granulométrique par tamisage
NF EN 933-3	Essais pour déterminer les propriétés générales des granulats – Partie 3 : détermination de la forme des granulats – Coefficient d'aplatissement
NF EN 933-5	Essais pour déterminer les propriétés générales des granulats – Partie 5 : détermination du pourcentage de surfaces cassées dans les gravillons
NF EN 933-9	Essais pour déterminer les propriétés générales des granulats –
NF EN 933-9	Essais pour déterminer les propriétés générales des granulats – Partie 9 : Qualification des fines – Essai au bleu de méthylène
NF EN 1097-1	Essais pour déterminer les propriétés mécaniques et physiques des granulats – Partie 1 : détermination de la résistance à l'usure (micro Deval)
NF EN 1097-2	Essais pour déterminer les propriétés mécaniques et physiques des granulats – Partie 2 : détermination de la résistance à la fragmentation (Los Angeles)
NF EN 1097-4	Essais pour déterminer les propriétés mécaniques et physiques des granulats – Partie 4 : Détermination de la porosité du filler sec compacté
NF P 98-251-1	Essais statiques sur mélanges hydrocarbonés - Essai Duriez sur mélanges hydrocarbonés à chaud.
NF EN 12697-12	Mélanges bitumineux – Méthodes d'essai pour mélange hydrocarboné à chaud – Partie 12 : Détermination de la sensibilité à l'eau des éprouvettes bitumineuses Méthode B en compression
NF EN 12697-34	Mélanges bitumineux – Méthodes d'essai pour mélange hydrocarboné à chaud – Partie 34 : Essai Marshall
NF EN 12697-31	Mélanges bitumineux – Méthodes d'essai pour mélange hydrocarboné à chaud – Partie 31 : Confection d'éprouvettes à la presse à compactage giratoire
NF EN 12697-22	Mélanges bitumineux – Méthodes d'essai pour mélange hydrocarboné à chaud – Partie 22 : Essai d'orniérage
NF EN 12697-26	Mélanges bitumineux – Méthodes d'essai pour mélange hydrocarboné à chaud – Partie 26 : Module
NF P 98-150-1	Exécution des corps de chaussées : couches de liaison et de roulement de chaussées
EN 13108-1	Mélanges bitumineux – Spécification des matériaux – Enrobés bitumineux
EN 13108-2	Mélanges bitumineux – Spécification des matériaux –Bétons bitumineux très minces
EN 13108-8	Mélanges bitumineux – Spécification des matériaux – Agrégats d'enrobés
EN 13108-20	Mélanges bitumineux – Spécification des matériaux – Épreuve de formulation

ANNEX

RESULTATS DE L'INVESTIGATION :

1- Résultats des essais in-situ :

SECTION : **Berrouaghia-Ouezra**

<table>
<tr><th colspan="3">Puit N° : 01</th></tr>
<tr><td colspan="3">Projet : Dédoublement de la RN 01 section CHIFFA-BOUGHEZOUL</td></tr>
<tr><td colspan="3">Dossier N° : 31.07.0098</td></tr>
<tr><td colspan="2">Client : TEC 04
Endroit : Berrouaghia-Ouezra
Position par rapport RN01 (Alger-Djelfa : gauche
Date : 05/09/2007</td><td>PK= 102+050</td></tr>
<tr><td>0.00 – 0.50 m</td><td colspan="2">Remblais (Corps de chaussé) : sable marron sec avec fragment de blocs et graviers</td></tr>
<tr><td>0.50 – 2.00 m</td><td colspan="2">Sable fin marron graveleux, légèrement humide, avec quelques blocs et cailloux au sommet.</td></tr>
<tr><td>2.00 – 3.00 m</td><td colspan="2">Sable fin marron graveleux, légèrement humide, avec trace d'oxydation et de graviers.</td></tr>
<tr><td colspan="3">Echantillon : 0.80-1.50m</td></tr>
</table>





Section : Montée de Médéa

Puit N°23		
Projet : Dédoublement de la RN 01 entre CHIFFA - BOUGHEZOUL sur 125km		
Dossier N° : 31.07.0098		
Client : TEC 04		**Localisation : PK= 0+350**
Section S1 : Montée de Médéa		
Date : 02-03-2008		
Ingénieur : H-HAMIDI		
0.00 – 0.80	Terre végétale – Remblais constitué d'argile sableuse brun-verdâtre avec des cailloux, gravier et des déchets de fer.	
0.80 – 1.50	Argiles sableuses brunâtres à verdâtres peut compactes, finement oxydées avec de fines nodules calcaires et traces de racines végétales.	
1.50 – 3.00	Argiles brun-jaunâtres à jaun-verdâtres très compactes et humides avec quelques concrétions calcaires et des cristaux de gypse (en amas abondants) finement oxydées avec traces de racines végétales.	
Echantillon : 1.00 – 1.50 m.		





Section : Col de Benchicao

Puit N°24	
Projet : Dédoublement de la RN 01 entre CHIFFA - BOUGHEZOUL sur 125km	
Dossier N° : 31.07.0098	
Client : TEC 04	**Localisation : PK= 1+270**
Section S4 : Col Benchicao	
Date : 02-03-2008	
Ingénieur : H-HAMIDI	

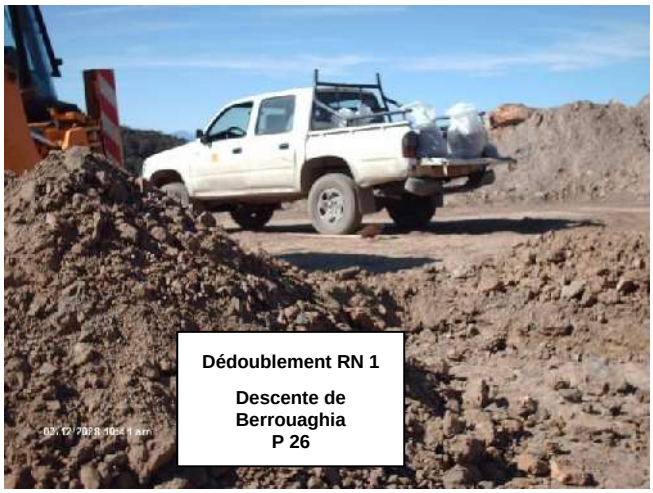
0.00 – 0.80	Terre végétale – limons argileux un peu sableux brunâtres.
0.80 – 1.60	Limons argilo-sableux brunâtre peut compactes, finement oxydées avec des racines végétales, matière organique dégradée et quelques petits fragments de grés.
1.60 – 2.10	Idem niveau supérieur (limons argilo-sableux) de couleur rougeâtre un peu lâches, oxydées avec traces de racines végétales, matière organique dégradée et des fragments de grés (taille 1 cm). On note en bas du niveau la présence de quelques nodules calcaires et la baisse graduelle du niveau d'oxydation (couleur ocre)
2.10 – 3.00	Idem niveau supérieur (limons argilo-sableux) de couleur ocre un peut compacte (plus argileux), peu oxydées avec traces de matière organique dégradée et des fragments de grés rougeâtre et quelques nodules calcaires
Echantillon : 1.60 - 2.00 m	





Section : Descente de Berrouaghia

Puit N°26		
Projet : Dédoublement de la RN 01 entre CHIFFA - BOUGHEZOUL sur 125km		
Dossier N° : 31.07.0098		
Client : TEC 04		**Localisation : PK= 0+300**
Section S6 : Descente de Berrouaghia		
Date : 24-03-2008		
Ingénieur : H-HAMIDI		
0.00 – 0.80	Remblais de carrière constitués de sable et fragments de calcaire et une fraction argileuse	
0.80 –1.70	Intercalation de petits niveaux de grés jaunâtre oxydés avec des joints (se brisent facilement) et de marne très altérée de couleur gris blanchâtre avec des taches noirâtres et des nodules calcaires. La fraction sableuse est issue de la dégradation des grés très oxydés.	
1.70 – 2.20	Marnes gris-verdârtes à jaunâtre oxydées, un peu dures se fragmentant facilement avec des taches noires.	
2.20	Arrêt à 2.20 sur des marnes gris-bleutées à gris-verdârtes d'aspect schisteuse avec des taches noires et des joints oxydés	
Echantillon : 0.90 – 1.50 m		





Section : Evitement de Berrouaghia

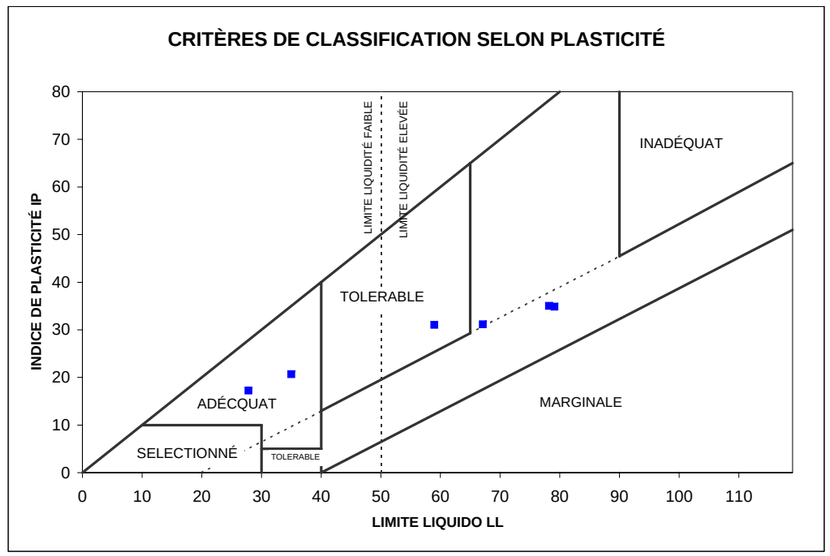
Puit N°31		
Projet : Autoroute CHIFFA et BERROUAGHIA SUR 53 Km		
Dossier N° : 31.07.0098		
Client : TEC 04		**Localisation : PK= 2+190**
Section S7 : Evitement de Berrouaghia		
Date : 02-04-2008		
Ingénieur : H-HAMIDI		
0.00 – 0.50	Terre végétale – Argiles limono sableuse brunâtres avec de fins nodules calcaires et une fraction fine marneuse.	
0.50 – 1.10	Marne argileuse brun verdâtre parfois jaunâtre, oxydées friable au sommet et très fragmentée à la base (un peu dure) avec des concrétions et nodules calcaires.	
1.10 – 1.50	Marne verdâtre à gris verdâtre fragmentée. Devient de plus en plus cohérente à la base.	
1.50	Refus sur marne très dure de couleur verdâtre.	
Echantillon : 0.50 – 1.10 m		

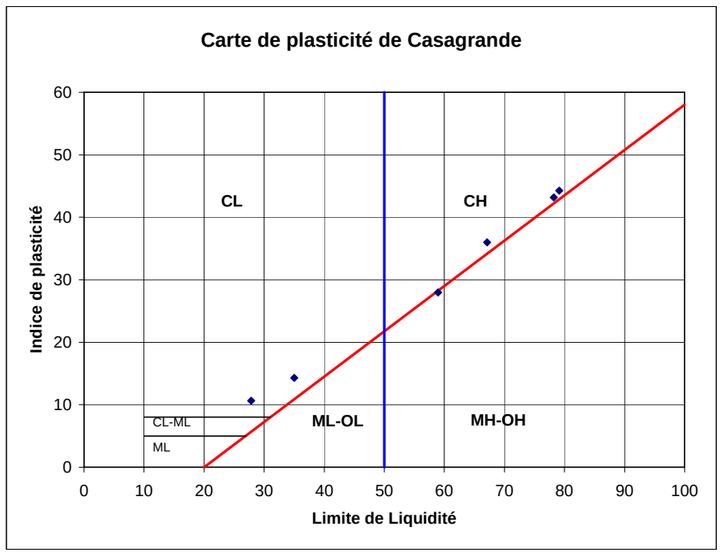


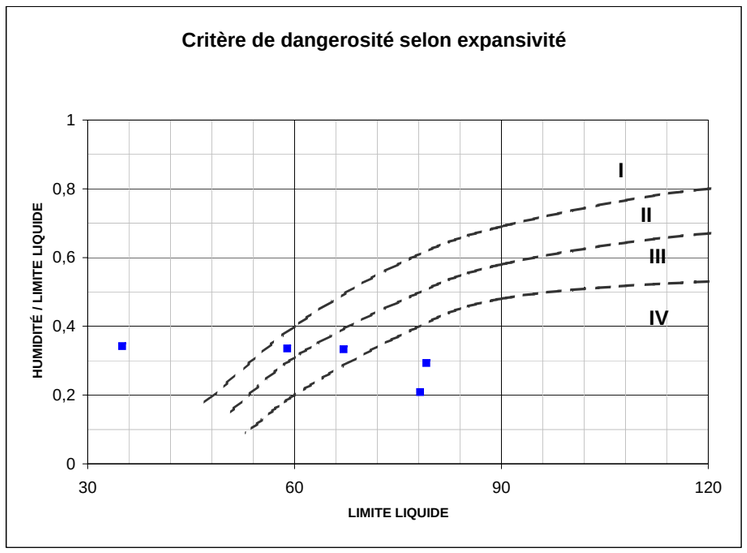


ETUDE DE DEDOUBLEMENT DE LA RN 01
ENTRE LA CHIFFA ET BOUGHZOUL SUR 125 KM
SECTION EL HAMDANIA - BERROUAGHIA

Puits N°			P23	P23	P19	P20	P21	P22
Section			S1	S1	S1	S1	S1	S1
PK (RN-01)								
PK			0+350	0+350	0+920	2+700	5+100	6+750
Profondeur (m)			1.00-1.50	1.80-2.20	0.60-0.80	1.00-1.50	0.80-1.20	0.60-1.20
Classe du sol selon GTR			A3	A4	B5	B6	A3	B6
Teneur en eau naturelle : w (%)			22,37	23,18	5,94	11,98	19,79	16,29
Granulométrie	% des passants à 5 mm		99,50	100,00	94,00	78,00	99,00	94,00
	% des passants à 2 mm		99,00	99,50	64,00	60,00	97,00	66,00
	% des passants à 0,40 mm		99,00	99,00	40,00	39,00	93,00	37,00
	% des passants à 80 µ		91,20	95,20	26,60	35,00	88,20	34,80
Classification du sol selon LCPC			Sol fin	Sol fin	Sol grenu	Sol grenu	Sol fin	Sol grenu
Limites ATTERBERG	Limite de liquidité L_L		67,10	79,12	27,84	35,00	58,96	78,21
	Indice de plasticité L_P		35,98	44,25	10,63	14,31	27,95	43,18
IP			31,12	34,87	17,21	20,69	31,01	35,03
Humidité / Limite liquide			0,33	0,29	0,21	0,34	0,34	0,21
Classification du sol selon Casagrande			At	At	Ap	Ap	At	At
Proctor modifié	g_{dopm} (t/m^3)		-	-	-	1,98	-	1,86
	w_{opm} (%)		-	-	-	11,80	-	8,80
C.B.R imbibé à 4 jours	55 coups	g_d (t/m^3)	-	-	-	1,99	-	1,86
		I_{CBR}	-	-	-	8,04	-	1,58
		Gonflement (%)	-	-	-	5,60	-	0,00
	25 coups	g_d (t/m^3)	-	-	-	1,91	-	1,79
		I_{CBR}	-	-	-	7,81	-	0,71
		Gonflement (%)	-	-	-	5,50	-	0,00
	10 coups	g_d (t/m^3)	-	-	-	1,84	-	1,67
		I_{CBR}	-	-	-	4,34	-	0,36
		Gonflement (%)	-	-	-	1,60	-	0,00
I_{CBR}	A 95 % de l'Opm		-	-	-	6,34	-	0,64
Calsification du sol			S4	S4	S3	S3	S4	S4



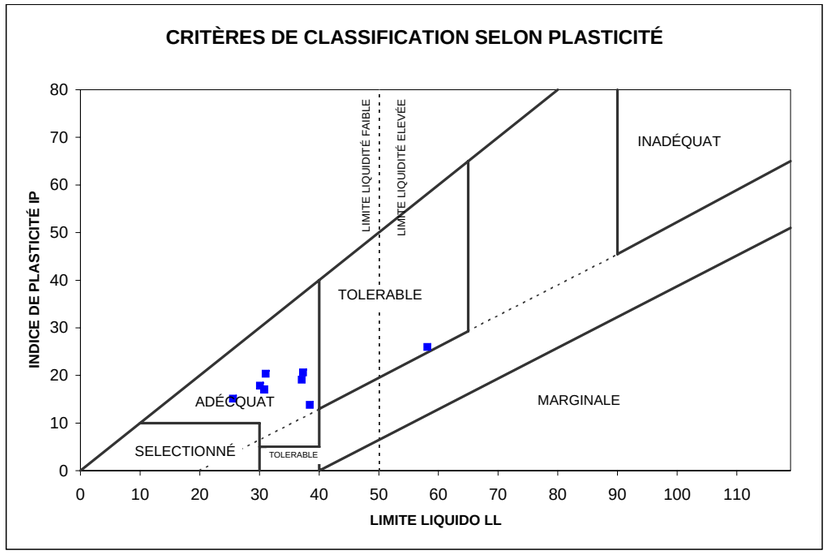


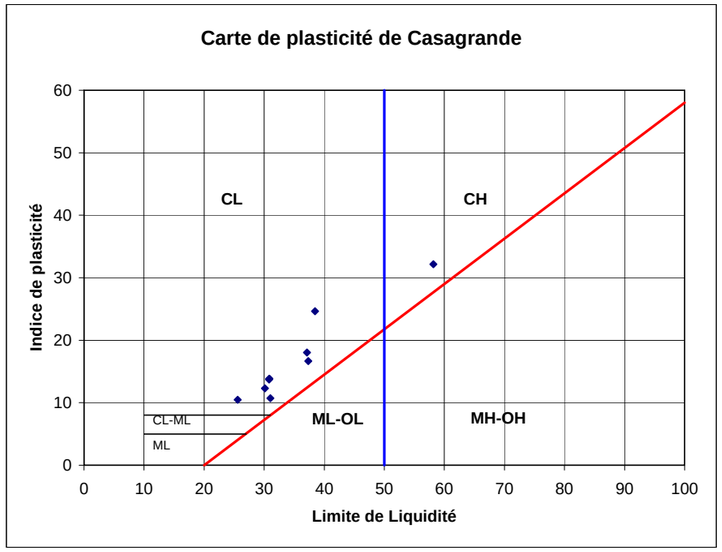


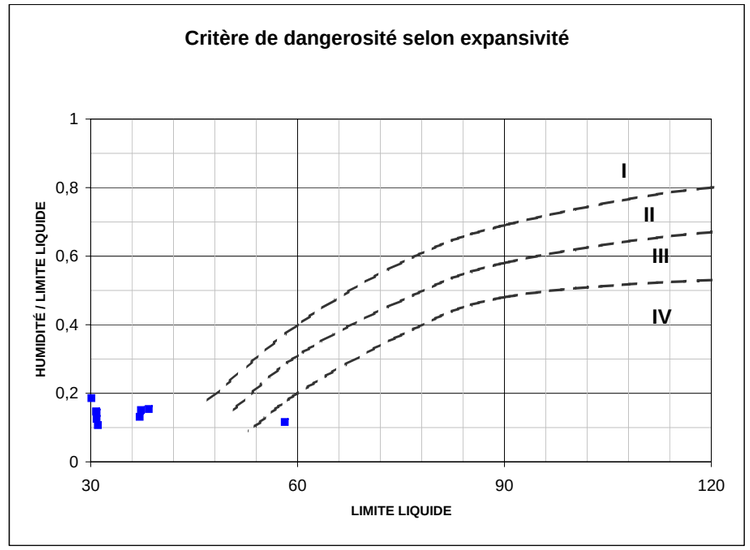
I	Expansivité nulle ou faible	III	Expansivité moyenne à élevée
II	Expansivité faible à moyenne	IV	Expansivité élevée à très élevée

ETUDE DE DEDOUBLEMENT DE LA RN 01
ENTRE LA CHIFFA ET BOUGHZOUL SUR 125 KM
SECTION EL HAMDANIA - BERROUAGHIA

Puits N°			P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18
Section			S3	S3	S3	S3	S3	S3	S3	S3	S3	S3
PK (RN-01)			95+500	94+850	94+050	93+350	93+000	92+700	92+200	91+400	90+900	90+400
PK			5+490	4+870	4+085	3+360	3+060	2+730	2+320	1+560	1+095	0+340
Profondeur (m)			1,00-1,40	0,60-1,20	1,00-1,60	0,70-1,80	0,70-1,30	1,20-1,90	0,60-1,00	1,20-1,50	0,60-1,30	1,20-1,50
Classe du sol selon GTR			A2	A2	A2	A2	A3	B6	B5	A2	A2	B6
Teneur en eau naturelle : w (%)			3,32	5,62	4,43	4,85	6,73	3,86	5,07	5,90	5,60	4,52
Granulométrie	% des passants à 5 mm		72,00	100,00	97,00	89,00	100,00	60,00	75,00	72,00	100,00	43,00
	% des passants à 2 mm		68,00	98,00	96,00	88,00	99,00	56,00	72,00	70,00	99,00	41,00
	% des passants à 0,40 mm		62,00	92,00	89,00	85,00	90,00	53,00	67,00	65,00	98,00	37,00
	% des passants à 80 µ		42,00	66,00	65,00	48,00	77,00	29,00	24,00	51,00	63,00	19,00
Classification du sol selon LCPC			Sol grenu	Sol fin	Sol fin	Sol grenu	Sol fin	Sol grenu	Sol grenu	Sol fin	Sol fin	Sol grenu
Limites ATTERBERG	Limite de liquidité L_L		31,04	37,32	30,85	37,11	58,16	30,85	25,58	38,44	30,11	30,80
	Indice de plasticité L_P		10,71	16,68	13,85	18,05	32,18	13,85	10,49	24,62	12,28	13,72
IP			20,33	20,64	17,00	19,06	25,98	17,00	15,09	13,82	17,83	17,08
Humidité / Limite liquide			0,11	0,15	0,14	0,13	0,12	0,13	0,20	0,15	0,19	0,15
Classification du sol selon Casagrande			Ap	Ap	Ap	Ap	At	Ap	Ap	Ap	Ap	Ap
Proctor modifié	g_{dopm} (t/m^3)		-	1,94	-	1,96	-	2,03	-	1,96	-	-
	w_{opm} (%)		-	11,90	-	12,00	-	9,80	-	10,60	-	-
C.B.R imbibé à 4 jours	55 coups	g_d (t/m^3)	-	1,99	-	1,98	-	2,00	-	1,98	-	-
		I_{CBR}	-	8,10	-	13,52	-	6,67	-	7,51	-	-
		Gonflement (%)	-	0,66	-	0,77	-	0,37	-	0,64	-	-
	25 coups	g_d (t/m^3)	-	1,86	-	1,89	-	1,97	-	1,84	-	-
		I_{CBR}	-	6,76	-	8,32	-	5,84	-	6,32	-	-
		Gonflement (%)	-	1,02	-	1,52	-	0,41	-	1,13	-	-
	10 coups	g_d (t/m^3)	-	1,72	-	1,71	-	1,90	-	1,73	-	-
		I_{CBR}	-	2,71	-	4,39	-	4,81	-	3,12	-	-
		Gonflement (%)	-	2,10	-	1,75	-	0,48	-	1,96	-	-
I_{CBR}	A 95 % de l'Opm		-	6,27	-	7,77	-	5,29	-	6,54	-	-
Calsification du sol			S3	S3	S3	S3	S4	S3	S3	S3	S3	S3





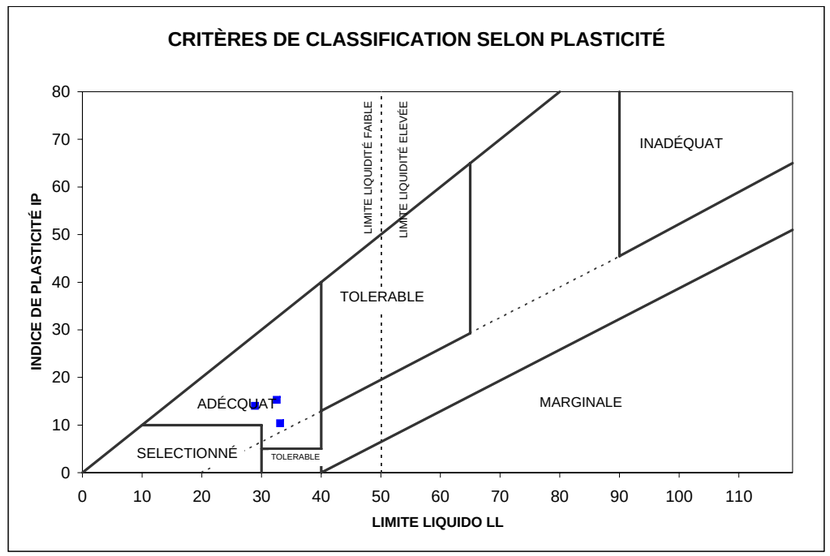


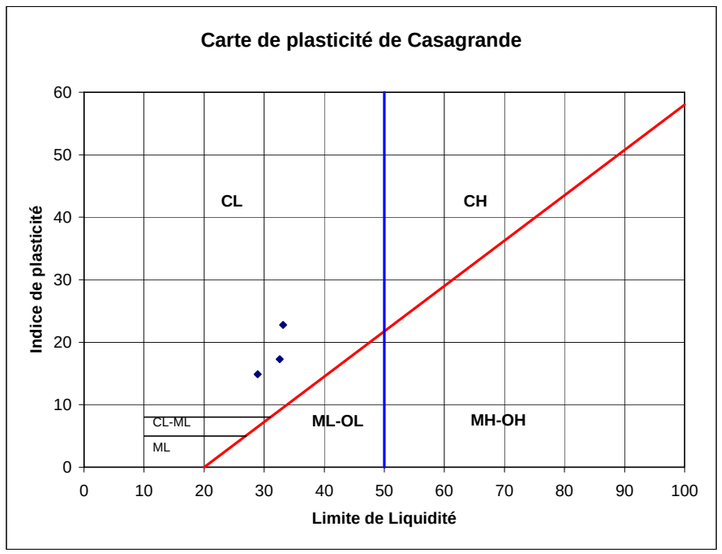
I	Expansivité nulle ou faible	III	Expansivité moyenne à élevée
II	Expansivité faible à moyenne	IV	Expansivité élevée à très élevée

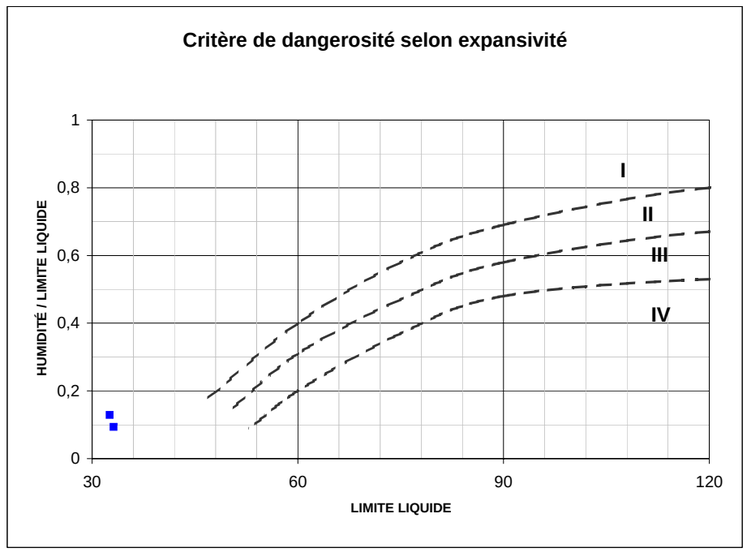
ETUDE DE DEDOUBLEMENT DE LA RN 01
ENTRE LA CHIFFA ET BOUGHZOUL SUR 125 KM
SECTION EL HAMDANIA - BERROUAGHIA

Puits N°			P7	P8	P24	P25
Section			S4	S4	S4	S4
PK (RN-01)			98+800	96+400	1+270	
PK			2+200	0+325	1+250	1+720
Profondeur (m)			0,70-1,50	0,40-1,00	1.60-2.00	No essais
Classe du sol selon GTR			A2	A2	A2	
Teneur en eau naturelle : w (%)			4,19	3,10	14,97	
Granulométrie	% des passants à 5 mm		78,00	75,00	99,59	
	% des passants à 2 mm		75,00	73,00	98,88	
	% des passants à 0,40 mm		67,00	67,00	97,65	
	% des passants à 80 µ		47,00	68,00	51,25	
Classification du sol selon LCPC			Sol grenu	Sol fin	Sol fin	
Limites ATTERBERG	Limite de liquidité L_L		32,58	33,13	28,93	
	Indice de plasticité L_P		17,29	22,75	14,89	
IP			15,29	10,38	14,04	
Humidité / Limite liquide			0,13	0,09	0,52	
Classification du sol selon Casagrande			Ap	Ap	Ap	
Proctor modifié	g_{dopm} (t/m^3)		-	-	2,01	
	w_{opm} (%)		-	-	8,9	
C.B.R imbibé à 4 jours	55 coups	g_d (t/m^3)	-	-	1,98	
		I_{CBR}	-	-	29,82	
		Gonflement (%)	-	-	0,74	
	25 coups	g_d (t/m^3)	-	-	1,88	
		I_{CBR}	-	-	12,08	
		Gonflement (%)	-	-	1,18	
	10 coups	g_d (t/m^3)	-	-	1,74	
		I_{CBR}	-	-	7,37	
		Gonflement (%)	-	-	1,49	
I_{CBR}	A 95 % de l'Opm		-	-	16,92	

Calsification du sol	S3	S3	S2

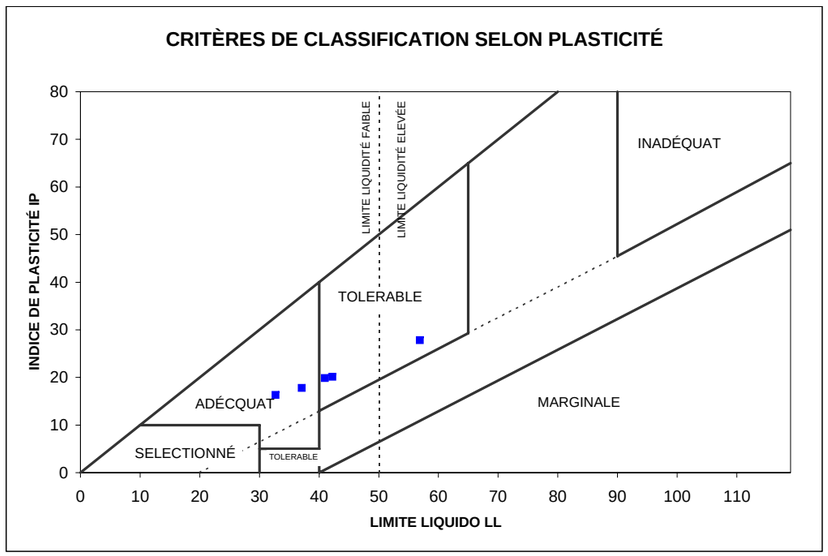


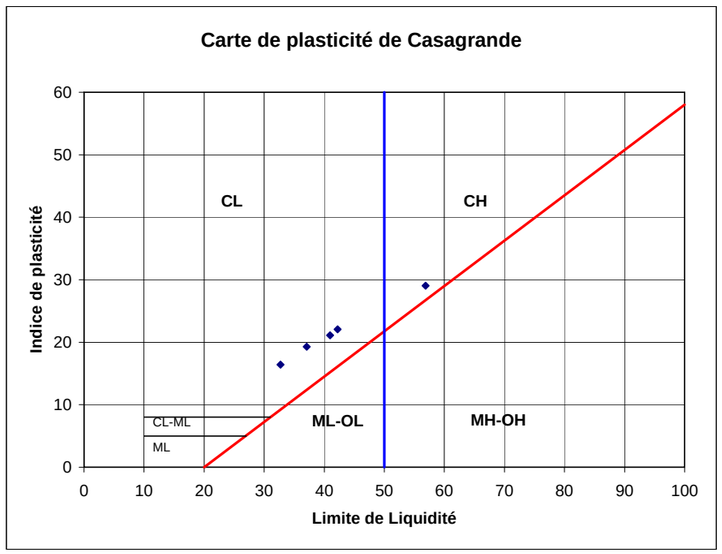


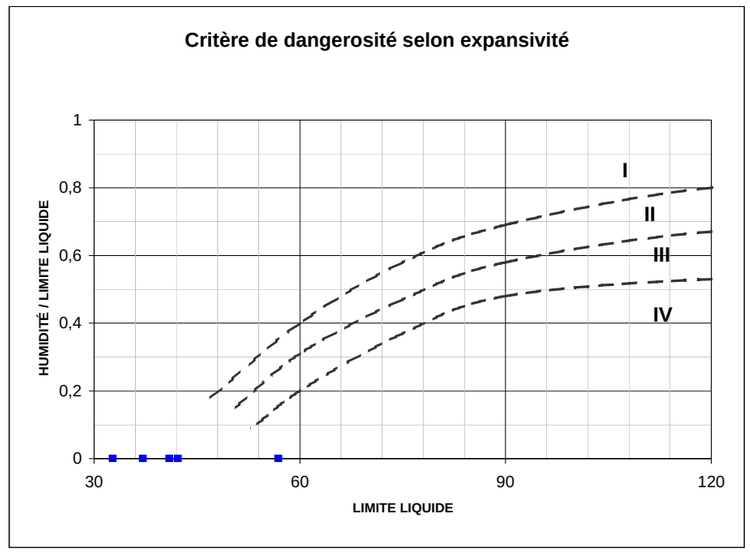


I	Expansivité nulle ou faible	III	Expansivité moyenne à élevée
II	Expansivité faible à moyenne	IV	Expansivité élevée à très élevée

Puits N°			P2	P3	P4	P5	P6
Section			S5	S5	S5	S5	S5
PK (RN-01)			101+550	100+950	100+350	100+000	99+500
PK							
Profondeur (m)			1,10-1,70	0,70-1,30	0,90-1,30	1,20-1,50	1,00-1,50
Classe du sol selon GTR			B6	A2	A2	A2	A3
Teneur en eau naturelle : w (%)			-	-	-	-	-
Granulométrie	% des passants à 5 mm		67,00	80,00	68,00	84,00	78,00
	% des passants à 2 mm		54,00	75,00	63,00	82,00	100,00
	% des passants à 0,40 mm		33,00	69,00	56,00	77,00	100,00
	% des passants à 80 µ		22,00	54,00	46,00	68,00	92,00
Classification du sol selon LCPC			Sol grenu	Sol fin	Sol grenu	Sol fin	Sol fin
Limites ATTERBERG	Limite de liquidité L_L		37,10	32,71	40,96	42,22	56,87
	Indice de plasticité L_P		19,30	16,41	21,12	22,08	29,06
IP			17,80	16,30	19,84	20,14	27,81
Humidité / Limite liquide			?	?	?	?	?
Classification du sol selon Casagrande			Ap	Ap	Ap	Ap	At
Proctor modifié	g_{dopm} (t/m^3)		-	1,98	-	-	1,87
	w_{opm} (%)		-	9,10	-	-	11,80
C.B.R imbibé à 4 jours	55 coups	g_d (t/m^3)	-	1,97	-	-	1,87
		I_{CBR}	-	4,62	-	-	2,53
		Gonflement (%)	-	1,97	-	-	2,35
	25 coups	g_d (t/m^3)	-	1,85	-	-	1,79
		I_{CBR}	-	2,46	-	-	2,19
		Gonflement (%)	-	2,20	-	-	3,31
	10 coups	g_d (t/m^3)	-	1,70	-		1,65
		I_{CBR}	-	1,65	-	-	1,47
		Gonflement (%)	-	3,22	-	-	3,44
I_{CBR}	A 95 % de l'Opm		-	2,85	-	-	2,10
Calsification du sol			S3	S4	S4	S4	S4

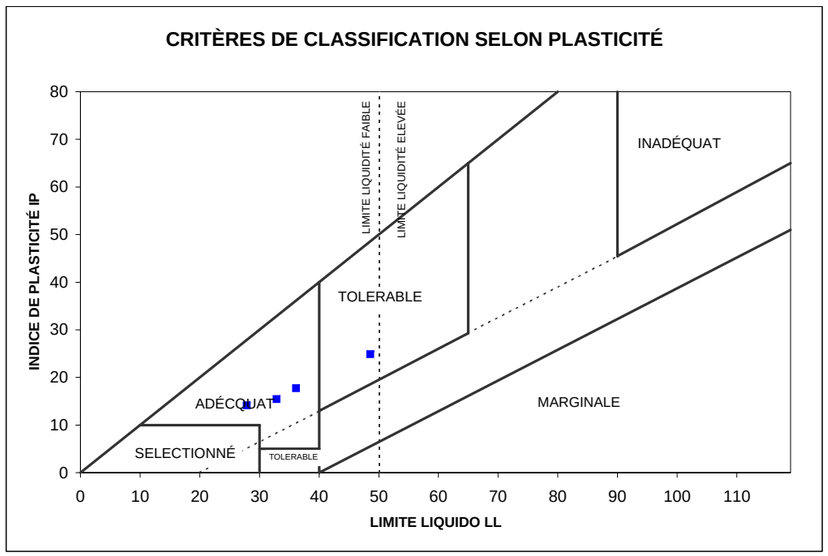


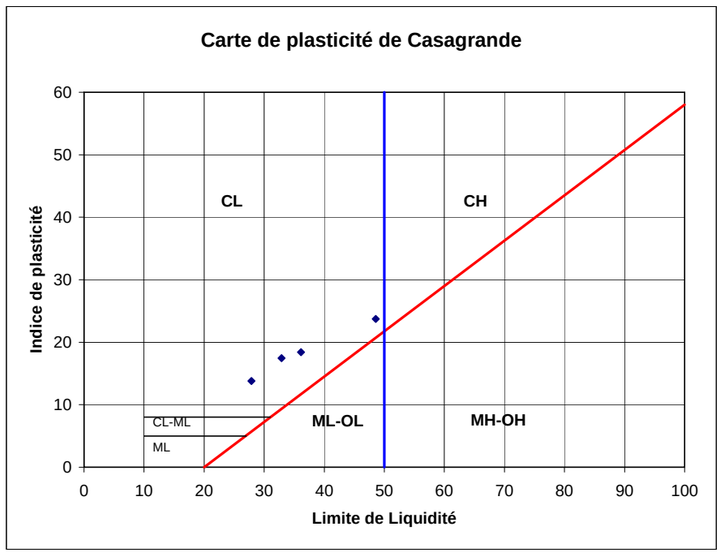


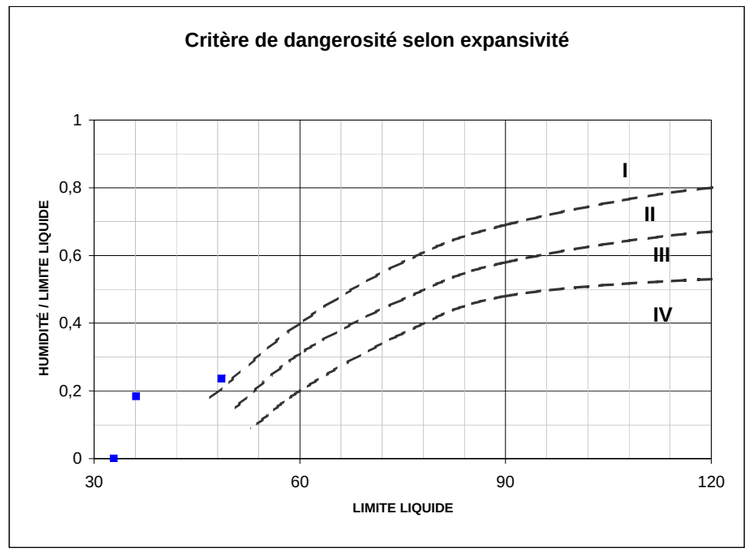


I	Expansivité nulle ou faible	III	Expansivité moyenne à élevée
II	Expansivité faible à moyenne	IV	Expansivité élevée à très élevée

Puits N°			P1	P26	P27	P28
Section			S6	S6	S6	S6
PK (RN-01)			102+500			
PK			0+225	0+300	0+850	2+200
Profondeur (m)			0,80-1,50	0.90-1.50	0.90-1.50	1.00-1.50
Classe du sol selon GTR			C1A1	C1A1	C1A1	C1A1
Teneur en eau naturelle : w (%)			-	6,64	10,38	11,47
Granulométrie	% des passants à 5 mm		57,00	54,77	57,65	55,95
	% des passants à 2 mm		47,00	45,76	47,59	48,76
	% des passants à 0,40 mm		38,00	37,73	38,30	39,97
	% des passants à 80 µ		31,00	29,41	26,23	35,25
Classification du sol selon LCPC			Sol grenu	Sol grenu	Sol grenu	Sol grenu
Limites ATTERBERG	Limite de liquidité L_L		32,89	36,14	27,88	48,57
	Indice de plasticité L_P		17,47	18,40	13,78	23,71
IP			15,42	17,74	14,10	24,86
Humidité / Limite liquide			?	0,18	0,37	0,24
Classification du sol selon Casagrande			Ap	Ap	Ap	Ap
Proctor modifié	g_{dopm} (t/m^3)		2,14	2,10	-	2,02
	w_{opm} (%)		7,00	7,70	-	10,70
C.B.R imbibé à 4 jours	55 coups	g_d (t/m^3)	2,13	2,06	-	1,96
		I_{CBR}	9,57	5,23	-	4,12
		Gonflement (%)	0,45	1,57	-	2,12
	25 coups	g_d (t/m^3)	2,03	2,02	-	1,85
		I_{CBR}	3,46	2,48	-	2,74
		Gonflement (%)	0,92	2,28	-	2,28
	10 coups	g_d (t/m^3)	1,90	1,79	-	1,52
		I_{CBR}	1,10	1,79	-	1,92
		Gonflement (%)	2,36	2,78	-	2,44
I_{CBR}	A 95 % de l'Opm		3,48	2,41	-	3,60
Calsification du sol			S4	S4	S3	S4





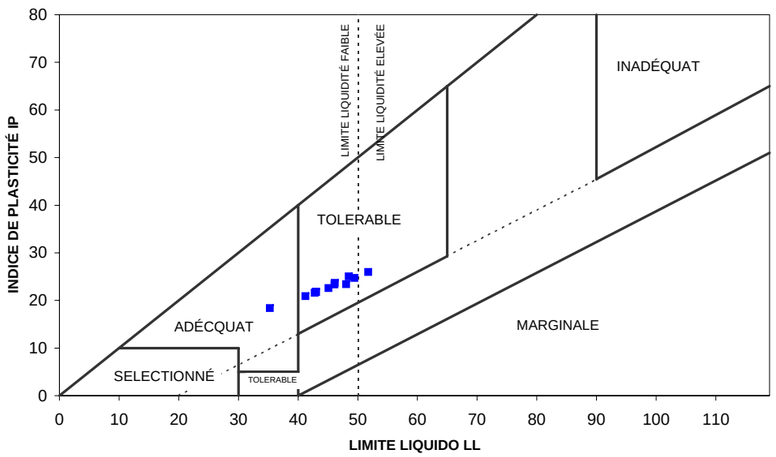


I	Expansivité nulle ou faible	III	Expansivité moyenne à élevée
II	Expansivité faible à moyenne	IV	Expansivité élevée à très élevée

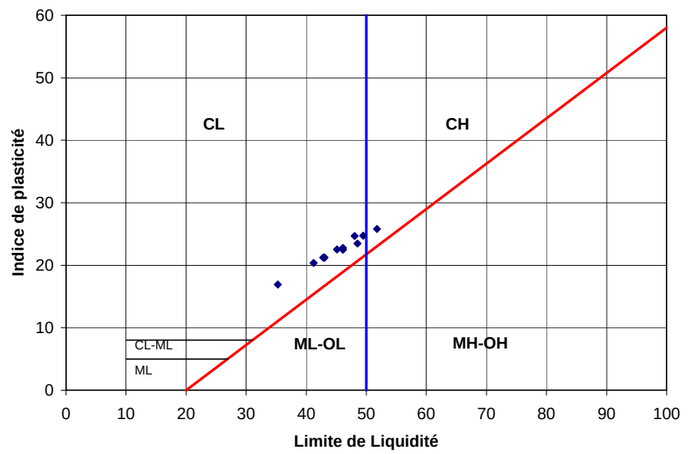
Puits N°			P29	P29	P30	P31	P32	P33	P34	P35	P36	P37	P38	P39						
Section			S7	S7	S7	S7	S7	S7	S7	S7	S7	S7	S7	S7						
PK (RN-01)																				
PK			0+890	0+890	1+550	2+190	2+640	3+350	4+700	5+200	5+700	6+400	6+930	7+500						
Profondeur (m)			0.80-1.30	2.00-2.50	0.80-1.50	0.50-1.10	1.00-1.50	1.00-1.50	0.40-0.80	0.70-1.20	0.70-1.20	0.80-1.30	0.60-1.10	0.70-1.20						
Classe du sol selon GTR			C1A1	A1	C1A1	C1A1	C1A1	C1A1	C1A1	A2	A2	A2	A2	A2						
Teneur en eau naturelle : w (%)			16,51	34,50	18,34	8,82	23,83	17,19	6,64	14,33	20,84	21,44	15,41	17,92						
Granulométrie	% des passants à 5 mm		86,58	78,41	55,48	55,27	57,62	88,98	18,72	85,90	93,15	99,95	99,79	76,68						
	% des passants à 2 mm		81,91	72,72	48,47	51,95	53,53	81,31	14,76	84,06	92,33	99,41	97,97	67,17						
	% des passants à 0,40 mm		76,89	67,39	42,93	50,50	51,62	77,71	12,44	82,58	90,24	98,18	94,40	73,25						
	% des passants à 80 µ		63,14	50,90	36,38	49,90	41,89	59,40	11,74	80,65	87,31	95,83	89,71	61,17						
Classification du sol selon LCPC			Sol fin	Sol fin	Sol grenu	Sol grenu	Sol grenu	Sol fin	Sol grenu	Sol fin	Sol fin	Sol fin	Sol fin	Sol fin						
Limites ATTERBERG	Limite de liquidité L_L		51,76	35,28	46,09	42,81	42,98	46,13	41,23	43,03	48,51	49,46	45,11	48,06						
	Indice de plasticité L_P		25,81	16,92	22,75	21,23	21,18	22,46	20,37	21,25	23,48	24,74	22,54	24,67						
IP			25,95	18,36	23,34	21,58	21,80	23,67	20,86	21,78	25,03	24,72	22,57	23,39						
Humidité / Limite liquide			0,32	0,98	0,40	0,21	0,55	0,37	0,16	0,33	0,43	0,43	0,34	0,37						
Classification du sol selon Casagrande			At	Ap	Ap	Ap	Ap	Ap	Ap	Ap	Ap	Ap	Ap	Ap						
Proctor modifié	g_{dopm} (t/m^3)		2,01	-	-	-	1,96	-	-	1,96	-	-	1,91	-						
	w_{opm} (%)		9,80	-	-	-	11,30	-	-	9,40	-	-	12,50	-						
C.B.R imbibé à 4 jours	55 coups	g_d (t/m^3)	1,98	-	-	-	1,98	-	-	1,94	-	-	1,90	-						
		I_{CBR}	6,80	-	-	-	2,28	-	-	4,61	-	-	9,43	-						
		Gonflement (%)	3,56	-	-	-	1,85	-	-	1,49	-	-	1,49	-						
	25 coups	g_d (t/m^3)	1,86	-	-	-	1,90	-	-	1,82	-	-	1,81	-						
		I_{CBR}	5,77	-	-	-	2,11	-	-	3,84	-	-	7,10	-						
		Gonflement (%)	4,40	-	-	-	2,92	-	-	1,98	-	-	1,98	-						
	10 coups	g_d (t/m^3)	1,68	-	-	-	1,79	-	-	1,65	-	-	1,67	-						
		I_{CBR}	3,18	-	-	-	0,90	-	-	2,03	-	-	3,26	-						
		Gonflement (%)	5,97	-	-	-	3,81	-	-	2,50	-	-	3,07	-						
I_{CBR}	A 95 % de l'Opm		6,18	-	-	-	1,76	-	-	4,10	-	-	7,00	-						

Calsification du sol	S3	S3	S4	S4	S4	S4	S4	S4	S4	S4	S3	S4						

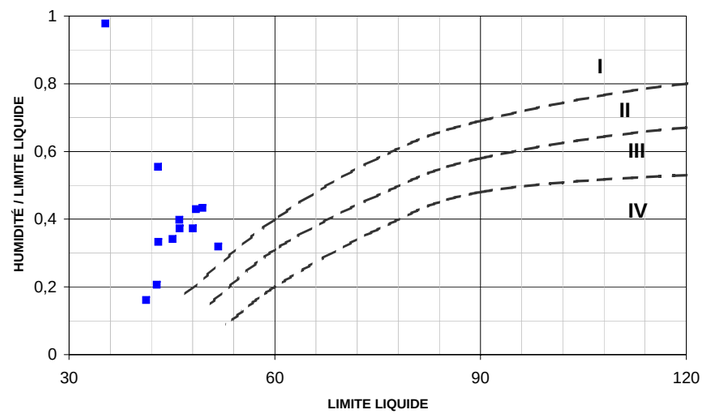
CRITÈRES DE CLASSIFICATION SELON PLASTICITÉ



Carte de plasticité de Casagrande



Critère de dangerosité selon expansivité



I	Expansivité nulle ou faible	III	Expansivité moyenne à élevée
II	Expansivité faible à moyenne	IV	Expansivité élevée à très élevée

المخبر المركزي للأشغال العمومية
LABORATOIRE CENTRAL DES TRAVAUX PUBLICS

RAPPORT DE FORAGE — Sondage N°: SC5-S1-PK: 2+700

ETUDE : Dédoublement de la RN1 entre Chiffa et Boughezoul
LIEU : Section : Berrouaghia - Hamdania
CLIENT : Tec 4

DATE DEBUT : 04/06/5008 — PROFONDEUR TOTALE : 20 ML — BOUE DE FORAGE :
DATE FIN : 07/06/2008 — COORDONNEES : X = 479325.5476 Y = 4018885.1201 — TYPE FORAGE : Carotté
NIVEAU NAPPE : m — Z = 478.150 — TYPE DE MACHINE : Térédo B.M/O.M

Prof (m)	Récupération (0 25 50 75 100)	S.P.T	R.Q.D	ϕ Tub	ϕ Carottier	Echant	Profond Ech (m)	Coupe	DESCRIPTION	Cu Bar	φu (°)	W_n %	γ_d T/m³	I_p %	Class. LPC	Type Essai
1,0	66 %						1,50 1,75		argile graveleuse marron à rougeâtre oxydée par endroit avec trace de sable.							
2,0									1,50 — argile peu graveleuse marron à rougeâtre oxydée par endroit avec trace de sable. à la base un passage de calcaire grisâtre récupéré en blocs							
3,0									3,00							
4,0																
5,0	93 %								argile brunâtre avec de petites plaquettes de schiste grisâtre à noirâtre, oxydée par endroit avec un passage de calcaire							
6,0																
7,0	66 %						7,10 7,30		7,50 — argile brunâtre graveleuse peu plastique avec des inclusions carbonatées et trace de sable marron.							
8,0	80 %						8,10 8,50									
9,0							9,20 9,50		9,00 — au sommet une argile qui passe à des marnes grises altéré et oxydée avec des inclusions carbonatées.							
10,0	40 %															
11,0																
12,0									12,00 — marne calcareuse grisâtre récupérée en blocs, oxydée par endroit.							
13,0	60 %								13,50 — marne schisteuse récupérée sous forme de sable marneux avec quelques passages centimétriques de calcaire.							
14,0																
15,0	93 %															
16,0									16,50 — marne verdâtre à grisâtre avec un peu d'argile, oxydée par endroit.							
17,0									17,50							
18,0	40 %								marne schisteuse récupérée sous forme de sable marneux qui passe à des marnes verdâtre à la base							
19,0																
20,0									20,00							

Programme: Soltest 2007 ©



Sondage : SC5-S1
Caisse n° : 01
Profondeur : 0.00-7.50m



Sondage : SC5-S1
Caisse n° : 02
Profondeur : 7.50-17.50m



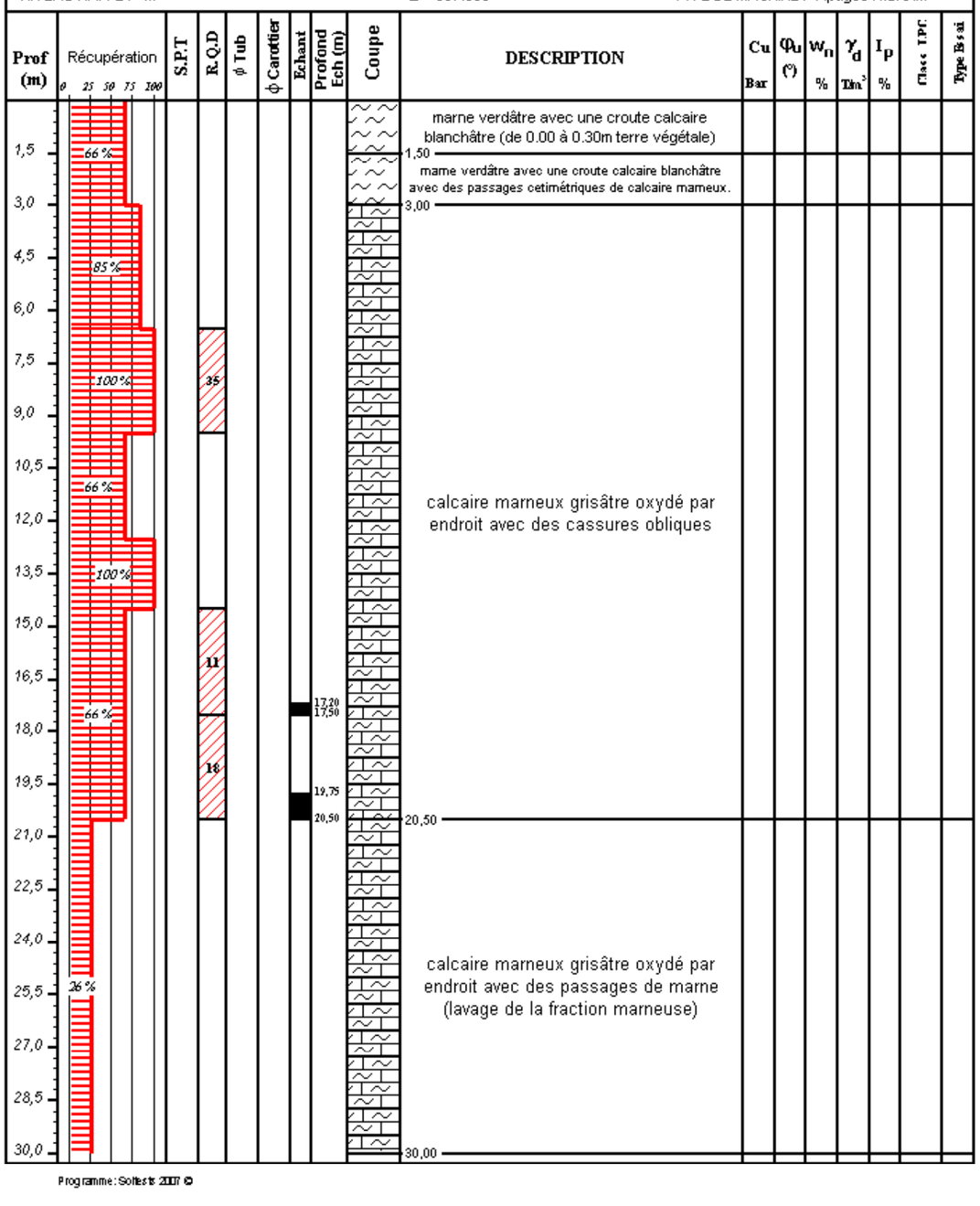
Sondage : SC5-S1
Caisse n° : 03
Profondeur : 17.50-20.00m

المخبر المركزي للأشغال العمومية
LABORATOIRE CENTRAL DES TRAVAUX PUBLICS

RAPPORT DE FORAGE — Sondage N°: SC8-S1 PK: 4+960

ETUDE : Dédoublement de la RN1 entre Chiffa et Boughezoul
LIEU : Section : Berrouaghia - Hamdania
CLIENT : Tec 4

DATE DEBUT : 20/05/2008 — PROFONDEUR TOTALE : 30 ML — BOUE DE FORAGE :
DATE FIN : 26/05/2008 — COORDONNEES : X = 480739.9096 Y = 4017436.8090 — TYPE FORAGE : Carotté
NIVEAU NAPPE : m — Z = 637.980 — TYPE DE MACHINE : Apageo H.S/O.M



Programme : Soltest 2007 ©



Sondage : SC8-S1
Caisse n° : 01
Profondeur : 0.00-6.50m



Sondage : SC8-S1
Caisse n° : 02
Profondeur : 6.50-12.50m



Sondage : SC8-S1
Caisse n° : 03
Profondeur : 12.50-20.50m



Sondage : SC8-S1
Caisse n° : 04
Profondeur : 20.50-30.00m

المخبر المركزي للأشغال العمومية
LABORATOIRE CENTRAL DES TRAVAUX PUBLICS

RAPPORT DE FORAGE Sondage N°: SC9-S1 PK 5+210

ETUDE : Dédoublement de la RN1 entre Chiffa et Boughezoul
LIEU : Section : Berrouaghia - Hamdania
CLIENT : Tec 4

DATE DEBUT : 17/05/2008 PROFONDEUR TOTALE : 20 ML BOUE DE FORAGE :
DATE FIN : 23/05/2008 COORDONNEES : X = 480815.2831 Y = 4017215.5269 TYPE FORAGE : Carotté
NIVEAU NAPPE : m Z = 607.390 TYPE DE MACHINE : Teredo, B.M/O.M

Prof (m)	Récupération (0 25 50 75 100)	S.P.T	R.Q.D	ϕ Tub	ϕ Carottier	Echant	Profond Ech (m)	Coupe	DESCRIPTION	Cu Bar	φu (°)	w_n %	γ_d T/m³	I_p %	Class. USC	Type Essai
									marne verdâtre graveleuse avec des inclusions carbonatées (de 0.00 à 0.20m terre végétale)							
									0,70							
1,0	71 %								marne calcareuse grisâtre broyée avec trace d'oxydation.							
2,0	45%															
3,0									3,00							
4,0																
5,0	77%															
6,0																
7,0																
8,0																
9,0																
10,0	87%															
11,0									marne calcareuse schisteuse verdâtre à grisâtre parfois récupérée en petite carottes, avec trace d'oxydation et des joints remplis par la calcite.							
12,0																
13,0																
14,0																
15,0																
16,0																
17,0	51 %															
18,0																
19,0																
20,0									20,00							

Programme: Softests 2007 ©



Sondage : SC9-S1
Caisse n° : 01
Profondeur : 0.00-7.50m



Sondage : SC9-S1
Caisse n° : 02
Profondeur : 7.50-13.20m



Sondage : SC9-S1
Caisse n° : 03
Profondeur : 13.20-20.00m

المخبر المركزي للأشغال العمومية
LABORATOIRE CENTRAL DES TRAVAUX PUBLICS

RAPPORT DE FORAGE — Sondage N°: SC12-S1 PK: 5+975

ETUDE : Dédoublement de la RN1 entre Chiffa et Boughezoul
LIEU : Section : Berrouaghia - Hamdania
CLIENT : Tec 4

DATE DEBUT : 03/06/2008 — PROFONDEUR TOTALE : 20 ML — BOUE DE FORAGE :
DATE FIN : 09/06/2008 — COORDONNEES : X = Y = — TYPE FORAGE : carotté
NIVEAU NAPPE : m — Z = — TYPE DE MACHINE : Apageo H.S/O.M

Prof (m)	Récupération (0 25 50 75 100)	S.P.T	R.Q.D	ϕ Tub	ϕ Carottier	Echant	Profond Ech (m)	Coupe	DESCRIPTION	Cu Bar	φu (°)	Wn %	γd T/m³	Ip %	Class. LPC	Type Essai
1,0	100%								Argile carbonatée marron silteuse par endroit, avec trace de graviers et inclusions carbonatées							
2,0									2,00							
3,0									marne schisteuse verdâtre, récupérée sous forme de petites paillettes, avec des traces d'oxydation et quelques cristaux centimétriques de calcite.							
4,0	75%															
5,0																
6,0																
7,0																
8,0	63%															
9,0																
10,0									10,00							
11,0									marne schisteuse verdâtre, récupérée sous forme de petites paillettes, avec des traces d'oxydation et quelques passages de calcaire marneux récupérés en blocs.							
12,0																
13,0	45%															
14,0																
15,0									15,50							
16,0									marne schisteuse verdâtre, récupérée sous forme de petites paillettes, avec des traces d'oxydation. (perte partielle d'eau à partir de 15m de profondeur)							
17,0																
18,0	82%															
19,0																
20,0									20,00							

Programme: Softest 2007 ©



Sondage : SC12-S1
Caisse n° : 01
Profondeur : 0.00-6.00m



Sondage : SC12-S1
Caisse n° : 02
Profondeur : 6.00-15.50m



Sondage : SC12-S1
Caisse n° : 03
Profondeur : 15.50-20.00m

المخبر المركزي للأشغال العمومية
LABORATOIRE CENTRAL DES TRAVAUX PUBLICS

RAPPORT DE FORAGE Sondage N°: S106

ETUDE : Dédoublement de la RN1 entre Chiffa et Boughezoul
LIEU : Section : Berrouaghia - Hamdania
CLIENT : Tec 4

DATE DEBUT : 04/09/2007 PROFONDEUR TOTALE : 20 ML BOUE DE FORAGE :
DATE FIN : 05/09/2007 COORDONNEES : X = 486.688,247 Y = 4.010.788,305 TYPE FORAGE : carotté
NIVEAU NAPPE : m Z = 988,300 TYPE DE MACHINE :

Prof (m)	Récupération (0 25 50 75 100)	S.P.T	R.Q.D	ϕ Tub	ϕ Carottier	Echant	Profond Ech (m)	Coupe	DESCRIPTION	Cu Bar	φu (°)	w_n %	γ_d T/m³	I_p %	Class. TPF	Type Essai
									Terre végétale							
1,0	50%								0,50 Sable peu argileux ,maron à brunâtre avec des inclusions carbonatées,des taches noirâtre et traces d'oxydation.							
2,0									2,00 Sable fin marron, avec des inclusions carbonatées ,des tâches noirâtre et trace d'oxydation.							
3,0	50%															
4,0									4,00 sable consolidé jaunâtre marneux par endroit avec traces d'oxydation.							
5,0	100%															
6,0									5,50 Marne grise compacte avec des joints sub-verticaux et trace d'oxydation,broyée							
7,0							7,20									
8,0							7,70									
9,0									9,00 Marne grise compacte de consistance rocheuse oxydée par endroit.							
10,0	100%															
11,0							11,00									
12,0							11,40		12,00 Marne grise compacte de consistance rocheuse ,avec des joints verticaux à remplissage d'argile.							
13,0	100%															
14,0							14,35									
15,0							14,90		15,00 Marne grise compacte de consistance rocheuse							
16,0	100%															
17,0							17,45									
18,0							18,00									
19,0	100%															
20,0									20,00							

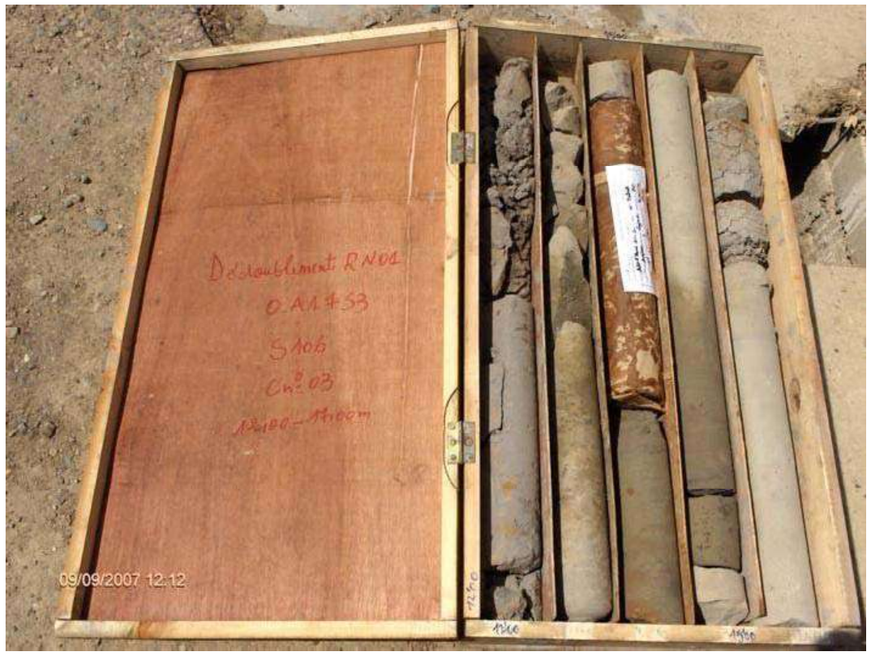
Programme : Soltest® 2007 ©



Sondage : SC106 S3
Caisse N° : 01
Profondeur : 0.00 – 6.00m



Sondage : SC106 S3
Caisse N° : 02
Profondeur : 6.00 – 12.00m



Sondage : SC106 S3
Caisse N° : 03
Profondeur : 12.00 – 17.00m



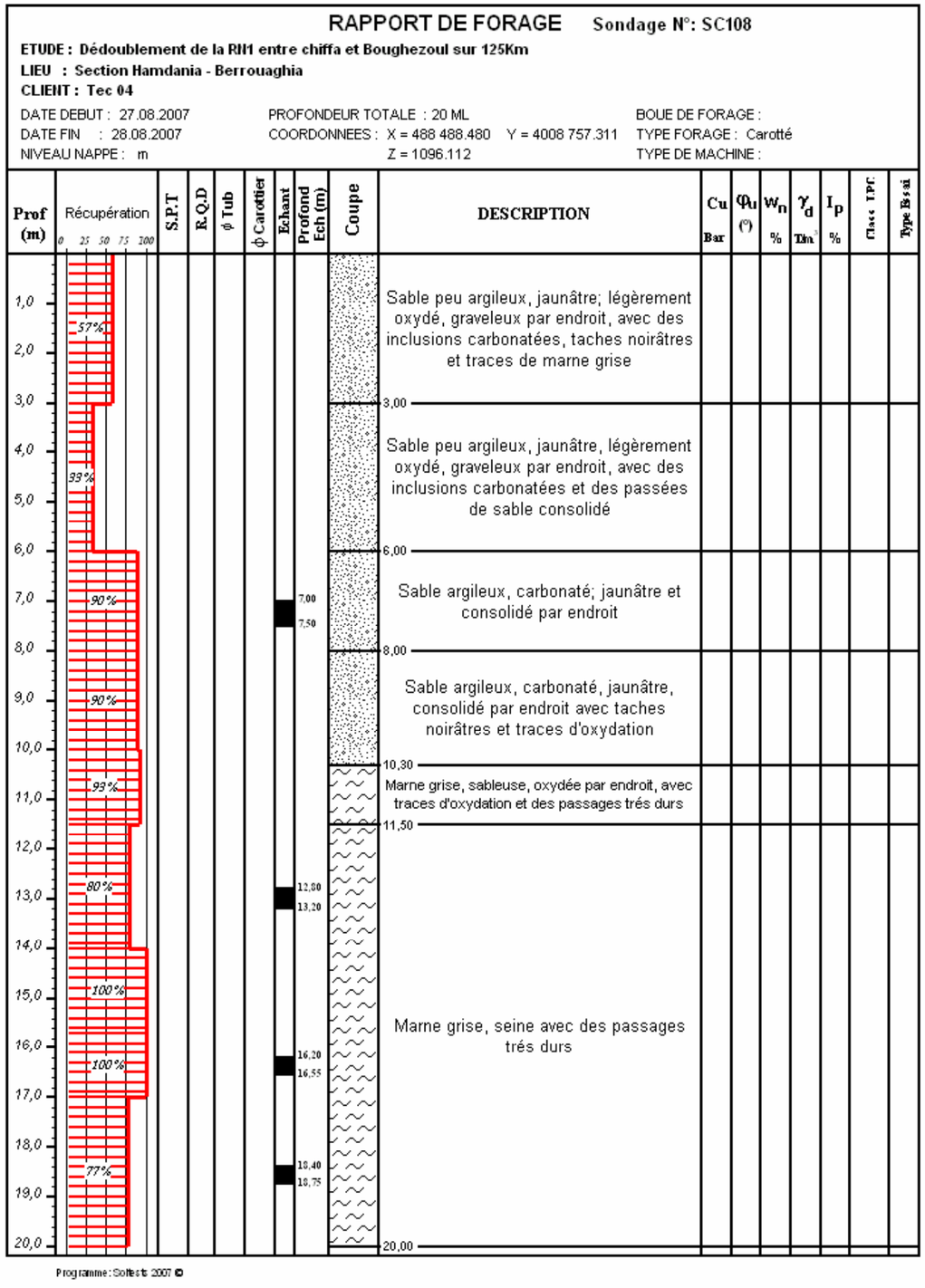
Sondage : SC106 S3
Caisse N° : 04
Profondeur : 17.00 –20.00m

المخبر المركزي للأشغال العمومية
LABORATOIRE CENTRAL DES TRAVAUX PUBLICS

RAPPORT DE FORAGE Sondage N°: SC108

ETUDE : Dédoublement de la RN1 entre chiffa et Boughezoul sur 125Km
LIEU : Section Hamdania - Berrouaghia
CLIENT : Tec 04

DATE DEBUT : 27.08.2007 — PROFONDEUR TOTALE : 20 ML — BOUE DE FORAGE :
DATE FIN : 28.08.2007 — COORDONNEES : X = 488 488.480 Y = 4008 757.311 — TYPE FORAGE : Carotté
NIVEAU NAPPE : m — Z = 1096.112 — TYPE DE MACHINE :





Sondage : SC108 S3
Caisse N° : 01
Profondeur : 0.00 – 10.00m



Sondage : SC108 S3
Caisse N° : 02
Profondeur : 10.00 – 15.70m



Sondage : SC108 S3
Caisse N° : 03
Profondeur : 15.70 – 20.00m

المخبر المركزي للأشغال العمومية
LABORATOIRE CENTRAL DES TRAVAUX PUBLICS

RAPPORT DE FORAGE Sondage N°: SC1-S6

ETUDE : Dédoublement de la RN1 entre Chiffa et Boughezoul
LIEU : Section : Berrouaghia - Hamdania
CLIENT : Tec 4

DATE DEBUT : 22/05/2008 — PROFONDEUR TOTALE : 20 ML — BOUE DE FORAGE :
DATE FIN : 24/05/2008 — COORDONNEES : X = 490.354 Y = 4.002.730 — TYPE FORAGE : Carotté
NIVEAU NAPPE : m — Z = 1212,971 — TYPE DE MACHINE : Galaxy, N.A/O.M

Prof (m)	Récupération (0 25 50 75 100)	S.P.T	R.Q.D	ϕ Tub	ϕ Carottier	Echant	Profond Ech (m)	Coupe	DESCRIPTION	Cu Bar	φu (°)	w_n %	γ_d T/m³	I_p %	Class. LPC	Type Essai
1,0	97%								limon graveleux jaunâtre, jaunâtre riche en graviers de différentes tailles. (de 0.00 à 0.40m terre végétale).							
2,0									1,30							
3,0									argile silteuse peu carbonatée, marron, graveleuse (graviers de grès rouge) avec trace d'oxydation.							
4,0	70%															
5,0							5,00 5.30		5,00							
6,0																
7,0							6,60 6,80		argile silteuse graveleuse oxydée par endroit, avec présence des amas de marnes grise, elle devient plus sableuse à la base.							
8,0	73%															
9,0																
10,0									10,50							
11,0									argile silteuse graveleuse oxydée et schisteuse par endroit, avec présence des amas de marnes grise.							
12,0	83%															
13,0																
14,0									14,00							
15,0									graviers anguleux de différente tailles de grès carbonaté rouge (probablement une couche récupérée en bloc), avec un passage de marne grise de 16.20 à 16.45m de profondeur							
16,0																
17,0	50%															
18,0																
19,0																
20,0									20,00							

Programme: Sollests 2007 ©



Sondage : SC1-S6
Caisse n° : 01
Profondeur : 0.00-5.00m



Sondage : SC1-S6
Caisse n° : 02
Profondeur : 5.00-10.50m



Sondage : SC1-S6
Caisse n° : 03
Profondeur : 10.50-18.00m



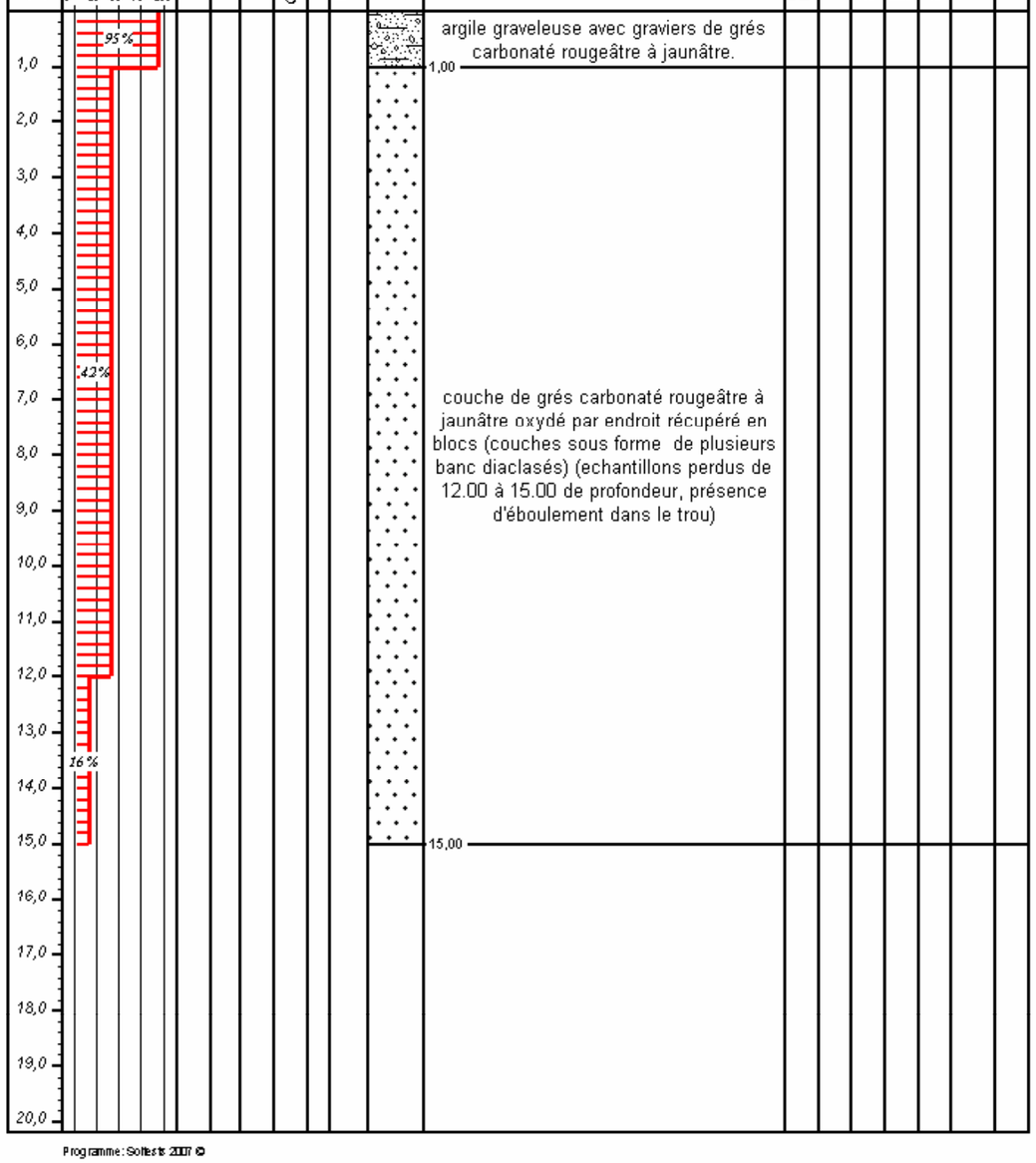
Sondage : SC1-S6
Caisse n° : 04
Profondeur : 18.00-20.00m

المخبر المركزي للأشغال العمومية
LABORATOIRE CENTRAL DES TRAVAUX PUBLICS

RAPPORT DE FORAGE Sondage N°: SC3-S6

ETUDE : Dédoublement de la RN1 entre Chiffa et Boughezoul
LIEU : Section : Berrouaghia - Hamdania
CLIENT : Tec 4

DATE DEBUT : 18/05/2008
DATE FIN : 19/05/2008
NIVEAU NAPPE : m
PROFONDEUR TOTALE : 15 ML
COORDONNEES : X = 491.195,619 Y = 4.001.530,332 Z = 1101,974
BOUE DE FORAGE :
TYPE FORAGE : Carotté
TYPE DE MACHINE : Galaxy(Tec), N.A/O.M



Programme: Sofitest 2007 ©



Sondage : SC3-S6
Caisse : 01
Profondeur : 0.00-12.00m



Sondage : SC3-S6
Caisse : 02
Profondeur : 12.00-15.00m

المخبر المركزي للأشغال العمومية
LABORATOIRE CENTRAL DES TRAVAUX PUBLICS

RAPPORT DE FORAGE — Sondage N°: SC22-S7

ETUDE : Dédoublement de la RN1 entre Chiffa et Boughezoul
LIEU : Section : Berrouaghia - Hamdania
CLIENT : Tec 4

DATE DEBUT : 19/05/2008 — PROFONDEUR TOTALE : 20 ML — BOUE DE FORAGE :
DATE FIN : 20/05/2008 — COORDONNEES : X = 491.062,988 Y = 4.001.023,770 — TYPE FORAGE : Carotté
NIVEAU NAPPE : m — Z = 1077,486 — TYPE DE MACHINE : Galaxy, N.A/O.M

Prof (m)	Récupération (0 25 50 75 100)	S.P.T	R.Q.D	ϕ Tub	ϕ Carottier	Echant	Profond Ech (m)	Coupe	DESCRIPTION	Cu Bar	φu (°)	w_n %	γ_d T/m³	I_p %	Class. TPF	Type Essai
1,0									Terre végétale rougeâtre.							
									1,00							
2,0									Argile brunâtre graveleuse avec présence des oxydation et des tâches noirâtres							
3,0									3,00							
4,0							4,00 4,30		Argile marron schisteuse avec présence des oxydation et tâches noirâtres.							
5,0									5,00 marne calcareuse grise à verdâtre oxydée par endroit avec présence de joints et cassures obliques à subverticales, à la base elle devient plus carbonatée (calcaire) avec des joints de calcite							
6,0																
7,0	95%								7,40							
8,0																
9,0									Argile marron schisteuse avec présence des oxydation et tâches noirâtres.							
10,0																
11,0																
12,0																
13,0									13,00 calcaire marneux très oxydé avec des cassures obliques.							
14,0									14,00							
15,0									Argile marron schisteuse avec présence des oxydation et tâches noirâtres.							
16,0	60%															
17,0							17,25 17,55		17,00 calcaire marneux oxydé par endroit.							
18,0									18,00							
19,0	95%								Argile marron schisteuse avec présence des oxydation et tâches noirâtres.							
20,0									20,00							

Programme : Softest® 2007 ©



Sondage : SC22-S7
Caisse n° : 01
Profondeur : 0.00-4.00m



Sondage : SC22-S7
Caisse n° : 02
Profondeur : 4.00-8.00m



Sondage : SC22-S7
Caisse n° : 03
Profondeur : 8.00-13.00m



Sondage : SC22-S7
Caisse n° : 05
Profondeur : 18.00-20.00m



Sondage : SC22-S7
Caisse n° : 04
Profondeur : 13.00-