

REPUBLIQUE DU SENEGAL
UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR



GC.0059

ECOLE SUPERIEURE POLY TECHNIQUE
Centre de THIES

DEPARTEMENT GENIE CIVIL

PROJET DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENSION DU DIPLOME D'INGENIEUR DE CONCEPTION

Titre :

*Contribution à la mise en œuvre d'une
formulation optimale de béton bitumineux :
Application aux concassés de basalte de Diack*

Auteurs : Mariama CISSE
Aïcha Hafçatou TOURE

Directeur : M. Ibrahima Khalil CISSE

Co-Directeur : M. Abdoulaye MBODJ

Juillet 2003

DEDICACE

A nos parents

A nos frères et sœurs

A tous nos professeurs

A tous ceux qui nous sont chers

SOMMAIRE

Le but de ce travail est de répertorier et d'étudier les formulations de béton bitumineux généralement employées au Sénégal afin d'en déduire une formulation optimale applicable aux concassés de basalte de Diack qui permette :

- de corriger les pathologies des revêtements en béton bitumineux ;
- d'améliorer la durée de vie des chaussées ;
- et d'assurer le confort et la sécurité des usagers.

Il commence par un exposé de la problématique des revêtements routiers au Sénégal à travers une présentation de l'ensemble du réseau routier et une description des différentes dégradations auxquelles il est soumis.

Puis une synthèse bibliographique traite d'une part de la définition des constituants et des caractéristiques du béton bitumineux. D'autre part, elle présente l'analyse du relevé visuel et des formulations de quelques tronçons routiers choisis sur l'ensemble du territoire sénégalais. Elle a ainsi permis l'orientation de l'étude expérimentale.

Cette dernière s'est articulée autour des essais géotechniques sur les granulats (0/3, 3/8, 8/16), des essais Marshall et Duriez sur quelques formulations de béton bitumineux. Elle a abouti à une formulation optimale améliorée par l'ajout de filler tel que le sable et le ciment.

Des recommandations quant à la démarche à adopter et aux moyens à mettre en œuvre pour l'obtention de routes de meilleure qualité viennent clore cette étude.

REMERCIEMENTS

La rédaction de ce Projet de Fin d'Etudes constitue pour nous une occasion de mesurer la part prise par toutes les personnes que nous avons côtoyées durant notre formation.

Certaines personnes, par l'excellence des relations établies, ont largement facilité nos travaux. Parmi elles :

- le professeur Ibrahima K. CISSE du département génie civil de l'Ecole Supérieure Polytechnique de Thiès, notre directeur interne, pour les multiples conseils, les explications claires et précises qu'il n'a cessé de nous apporter ;
- le directeur technique de Jean Lefebvre Sénégal, M. Abdoulaye MBODJ, qui a grandement facilité notre travail en mettant à notre disposition les moyens nécessaires à la réalisation de ce projet ;
- M. Mbar Coly FAYE, ingénieur polytechnicien spécialisé en passation de marchés à l'Agence Autonome des Travaux Routiers, qui tout au long de ce projet s'est assuré de son bon déroulement.

Qu'il nous soit ici permis de les remercier vivement.

Notre reconnaissance va également à l'endroit de tout le personnel de Jean Lefebvre Sénégal et de l'Agence Autonome des Travaux Routiers, de nos camarades de promotion et de tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à la réussite de ce projet.

TABLE DES MATIERES

	<i>Page</i>
LISTE DES TABLEAUX.....	VII
LISTE DES ABREVIATIONS ET SYMBOLES.....	VIII
INTRODUCTION.....	1
<i>CHAPITRE I : PROBLEMATIQUES DES REVETEMENTS ROUTIERS AU SENEGAL.....</i>	2
I. Etat global du réseau routier	3
II. Dégradations des chaussées revêtues.....	3
II.1- Types de dégradation.....	3
II.2- Définitions.....	4
II.2.1- Déformation.....	4
II.2.2- Fissure.....	4
II.2.3- Arrachement.....	5
II.2.4- Remontée.....	5
II.3- Causes possibles des dégradations.....	5
II.4- Evolution des dégradations.....	6
<i>CHAPITRE II : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE.....</i>	7
A. Définitions.....	8
I. L'enrobé dense.....	8
II. Le béton bitumineux.....	8
II.1- Définition.....	8
II.2- Domaines d'utilisation.....	9
II.3- Spécifications techniques.....	11
II.4- Composantes.....	11
II.4.1- Le bitume.....	11
II.4.1.1- Définition.....	11

II.4.1.2- Historique et origine.....	12
II.4.1.3- Classification.....	14
II.4.1.4- Spécifications techniques.....	15
II.4.2- Les granulats.....	15
II.4.2.1- Origine et nature.....	16
II.4.2.2- Granularité.....	16
II.4.2.3- Angularité.....	18
II.4.2.4- Propreté.....	18
II.4.2.5- Forme.....	18
II.4.2.6- Dureté.....	19
II.4.2.7- Adhésivité.....	19
II.4.2.8- Coefficient de polissage accéléré.....	19
II.4.3- Le filler.....	21
III. Rôle de la couche de roulement.....	21
B. Analyse de quelques tronçons de route existants.....	22
I. Les tronçons de route étudiants.....	22
II. Relevé visuel des dégradations.....	23
III. Analyse critique des formulations.....	26
CHAPITRE III : ETUDE EXPERIMENTALE	36
I. Méthodologie générale.....	37
II. Identification des matériaux constitutifs.....	37
II.1- Granulats.....	37
II.2- Bitume.....	39
II.3- Filler.....	40
III. Etude Marshall.....	40
III.1- But de l'essai.....	40
III.2- Préparation du mélange et confection des éprouvettes d'essai....	41
III.3- Présentation des résultats.....	42
III.4- Choix de la formulation optimale.....	44

IV. Vérification avec la formule optimale.....	45
IV.1- Essai d'immersion -compression LCPC Duriez.....	45
IV.1.1- But de l'essai.....	45
IV.1.2- Préparation du mélange et confection des éprouvettes d'essai.....	45
IV.1.3- Présentation des résultats.....	46
IV.2- Amélioration par ajout d filler.....	48
V. Présentations des résultats.....	51
CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS.....	53
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	55
ANNEXES	
Annexe 1	
• Carte administrative du Sénégal	
• Réseau routier du Sénégal	
Annexe 2	
• Photos de dégradation	
Annexe 3	
• Fiches des essais sur les granulats	
▪ Analyse granulométrique	
▪ Coefficient d'aplatissement	
▪ Poids spécifique	
▪ Los Angeles	
▪ Micro Deval	
Annexe 4	
• Fiches des essais Marshall	
Annexe 5	
• Fiches des essais LCPC Duriez	

LISTE DES TABLEAUX

	<i>Page</i>
Tableau 1 : Spécifications sur les bétons bitumineux.....	11
Tableau 2 : Bitumes purs : spécification française 65-001.....	15
Tableau 3 : Fuseaux de contrôle des différentes classes granulaires.....	17
Tableau 4 : Fuseau de granularité des bétons bitumineux.....	17
Tableau 5 : Limites de dureté pour les granulats.....	19
Tableau 6 : Caractéristiques des granulats pour techniques routières.....	20
Tableau 7 : Résultats du relevé visuel.....	24
Tableau 8 : Formules utilisées sur les différents tronçons étudiés.....	27
Tableau 9 : Caractéristiques des granulats.....	37
Tableau 10 : Caractéristiques du bitume 60/70.....	39
Tableau 11 : Résultats des Marshall (8/16 : 25% ; 3/8 : 30% ; 0/3 : 45%).....	42
Tableau 12 : Tableau comparatif : valeurs expérimentales et valeurs CPTP..... (8/16 : 25% ; 3/8 : 30% ; 0/3 : 45%)	42
Tableau 13 : Résultats des Marshall (8/16 : 15% ; 3/8 : 30% ; 0/3 : 55%).....	43
Tableau 14 : Tableau comparatif : valeurs expérimentales et valeurs CPTP..... (8/16 : 15% ; 3/8 : 30% ; 0/3 : 55%)	43
Tableau 15 : Résultats des Marshall (8/16 : 40% ; 3/8 : 12% ; 0/3 : 48%).....	43
Tableau 16 : Tableau comparatif : valeurs expérimentales et valeurs CPTP..... (8/16 : 40% ; 3/8 : 12% ; 0/3 : 48%)	44
Tableau 17 : Tableau comparatif des résultats des essais Marshall.....	44
Tableau 18 : Résultats des essais LCPC Duriez..... (8/16 : 25% ; 3/8 : 30% ; 0/3 : 45%, bitume : 4.7 %)	47
Tableau 19 : Résultats des essais Marshall et LCPC Duriez..... (8/16 : 25% ; 3/8 : 30% ; 0/3 : 40%, sable de dune : 5 %, bitume : 4.7 %)	49
Tableau 20 : Résultats des essais Marshall et LCPC Duriez (8/16 : 25% ; 3/8 : 30% ; 0/3 : 42%, ciment : 3 %, bitume : 4.7 %)	50
Tableau 21 : Formulations types pour bétons bitumineux.....	52

LISTE DES ABBREVIATIONS ET SYMBOLES

A	: Aplatissement
CBR	: California Bearing Ratio
CEBTP	: Centre d'Expérimentation des Bâtiments et Travaux Publics
cm	: Centimètre
CPA	: Coefficient de Polissage Accélééré
CPTP	: Cahier des Prescriptions Techniques Particulières
DA par MG	: Densité Apparente par Mesure Géométrique
DA par PH	: Densité Apparente par Pesée Hydrostatique
° C	: Degré Celsius
ES	: Equivalent de Sable
H	: Heure
Imm./comp.	: Immersion/compression
j	: Jour
kg	: Kilogramme
kg/cm ³	: Kilogramme/centimètre cube
LA	: Los Angeles
LCPC	: Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
m	: Mètre
m ²	: Mètre carré
m ² /kg	: Mètre carré par kilogramme
MDE	: Micro Deval humide
Mpa	: Mégapascal
%	: Pourcentage
P	: Propreté
Rc	: Résistance à la compression
R'c	: Résistance à la compression après immersion
s	: Seconde
Temp.	: Température
£	: Paramètre de correction de la température

INTRODUCTION

La construction routière constitue aujourd'hui l'une des priorités de la politique d'ajustement structurel du Sénégal. En effet, cette politique prévoit des travaux neufs, de renforcement et d'entretien courant et périodique afin d'accroître et de réhabiliter le réseau routier existant. Ceci se traduit par un bond du linéaire des routes bitumées qui est passé de 636 km en 1960 à 4538 km en 1999.

Cette croissance rencontre cependant certaines difficultés dans la réalisation des chaussées en général et des revêtements en béton bitumineux en particulier. Allant des déformations et des fissures aux arrachements et aux remontées de matériaux, les dégradations persistent et affectent les chaussées à moyen et à long terme. Ce qui a pour conséquence, malgré tous les efforts déployés par l'Etat, le manque de confort et de sécurité des usagers.

Pour corriger ces travers, il convient de reconsidérer les bases de la construction routière à savoir les formulations utilisées sur certains tronçons présentant aujourd'hui un état de dégradation qui affecte profondément la qualité de la chaussée.

C'est dans ce cadre que s'inscrit ce projet qui est une tentative d'étude de formulation optimale du béton bitumineux en revêtement routier utilisant comme granulat de base le concassé de basalte de Diack.

Il sera donc question, à travers cette étude, de proposer une meilleure formulation en tenant surtout compte des caractéristiques des différentes composantes du béton bitumineux.

Elle devra permettre de réduire les défauts susceptibles de se produire sur certains tronçons en exécution et de caler une formulation des bétons bitumineux dans un fuseau, formulation qui sera testée par les méthodes Marshall et Duriez.

Le présent rapport, qui expose les étapes et résultats de cette étude, s'articule autour d'une présentation du réseau routier du Sénégal et de ses problématiques, suivie d'une synthèse bibliographique, puis d'une étude expérimentale.

Chapitre I :

*Problématique des
revêtements routiers au
Sénégal*

I. ETAT GLOBAL DU RESEAU ROUTIER

Le Sénégal possède 4276 km de routes bitumées sur un linéaire total classé de 14576 km qui permet d'atteindre aisément, à partir de Dakar, tous les chefs lieux de région, les principaux centres de production minière, agricole, halieutique ainsi que les centres touristiques (voir cartes en annexe 1). Cependant plus de 70% de ce réseau est affecté d'une dégradation très avancée avec un âge inférieur à 15 ans (Banque Mondiale, 1999).

Les dégradations concernent essentiellement les chaussées souples à revêtement bitumineux. Elles caractérisent un état structurel de la chaussée, lié soit à l'ensemble des couches, du corps de chaussée et de la plateforme, soit seulement à la couche de surface. Elles sont souvent issues d'une insuffisance de capacité structurelle de la chaussée mais elles peuvent également être dues à un défaut de mise en œuvre, un défaut de qualité d'un produit ou d'une condition locale que le trafic peut accentuer.

La présente étude s'intéresse à l'une de ces causes à savoir le défaut de qualité et essaie d'y remédier en cherchant une formulation optimale du béton bitumineux. Cette formulation devrait permettre le choix optimal des constituants et contribuer largement, en association avec d'autres critères, à la recherche de solutions aux dégradations.

II. DEGRADATIONS DES CHAUSSEES REVETUES

L'étude des dégradations a été facilitée par les observations et constatations systématiques. Elles vont permettre d'élaborer des fiches de relevé visuel de l'état actuel de quelques tronçons.

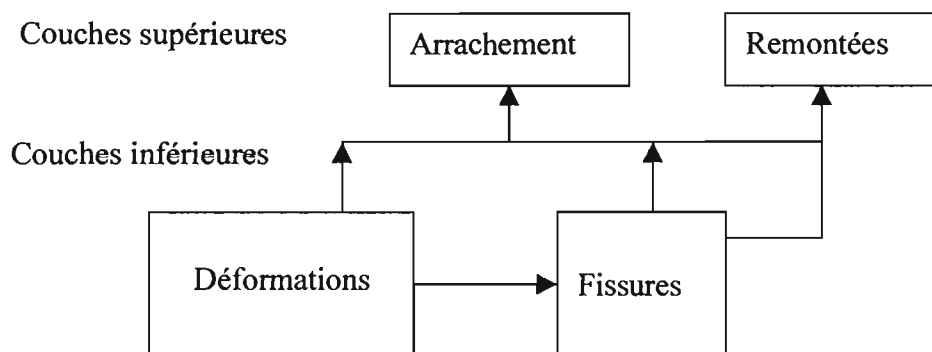
La recherche de causes probables n'étant pas parfois une tâche simple, il a été cependant possible de faire un recensement général des dégradations superficielles les plus fréquemment rencontrées. Avant l'élaboration de ces fiches, nous allons d'abord préciser certaines définitions.

II.1- TYPES DE DEGRADATION

Les dégradations des chaussées revêtues peuvent être regroupées en quatre grandes familles :

- Déformation ;
- Fissure ;
- Arrachement ;
- Remontée ou mouvement de matériaux.

Les déformations et les fissures affectent généralement les couches inférieures pour atteindre la couche de roulement tandis que les arrachements et les remontées prennent naissance et évoluent dans la couche de roulement.



II.2- DEFINITIONS

II.2.1- Déformation

L'affaissement : c'est une variation du niveau du profil. On distingue :

- a) l'affaissement longitudinal suivant l'axe ;
- b) l'affaissement longitudinal suivant la rive ;
- c) l'affaissement transversal.

Le bourrelet : c'est un renflement apparaissant à la surface de la terre. On distingue :

- a) le bourrelet longitudinal ;
- b) le bourrelet transversal.

L'empreinte : c'est une impression en relief localisée à la surface de la chaussée.

Le flache : c'est une dépression de forme arrondie.

L'orniérage : c'est une déformation permanente longitudinale qui se crée sous le passage des roues. On distingue :

- a) l'orniérage à grand rayon;
- b) l'orniérage à petit rayon.

La tôle ondulée : ce sont des successions d'ondulations perpendiculaires à l'axe de la chaussée.

II.2.2- Fissure

Le faïençage : c'est une fissuration à mailles plus ou moins fines se produisant dans les couches de surface. On distingue :

- a) le faïençage à mailles fines ou « peau de crocodile » de 10 à 40 cm de côté ;

b) le faïençage à mailles larges de 40 cm de côté et au-delà.

Les fissures : ce sont des lignes de rupture. On distingue :

- a) les fissures longitudinales : parallèles à l'axe de la route et apparaissant le plus souvent en rive ;
- b) les fissures transversales : intéressant tout ou une partie de la longueur de la chaussée ;
- c) les fissures en dent de scie.

II.2.3- Arrachement

Le désenrobage : c'est un décollement de la pellicule de liant enveloppant le matériau enrobé.

Le glaçage : c'est une usure du revêtement qui le rend lisse.

Le nid de poule : c'est une cavité de forme arrondie, à bords francs, créée à la surface de la chaussée par enlèvement du matériau.

La pelade : c'est une zone plus ou moins localisée où la couche de roulement s'est totalement décollée du reste de la chaussée.

Le plumage : c'est un arrachement des gravillons du revêtement.

II.2.4- Remontée

Remontée du liant : elle est appelée ressuage, c'est une forme de dégradation plus ou moins localisée où un excès de liant apparaît en surface. Elle recouvre totalement ou partiellement les granulats et donnent un aspect noir brillant.

Remontée d'eau : c'est une apparition de zone humide à la surface de la chaussée due à la remontée capillaire à travers les points faibles de la route.

II.3- CAUSES POSSIBLES DES DEGRADATIONS

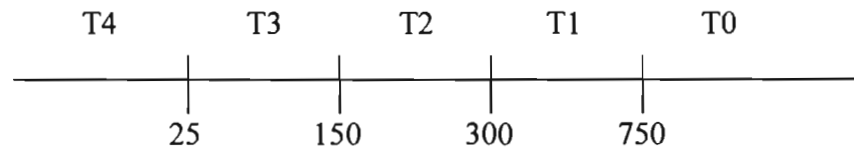
Les causes des dégradations sont nombreuses et variées. Elles peuvent être d'ordre :

- quantitatif : le trafic ;
- qualitatif : type de matériau constituant le corps de chaussée ;
- aléatoire : pluviosité....

Ces facteurs sont simultanément cause et effet car des dégradations apparues peuvent être la cause d'autres.

Ainsi, quatre critères permettent de faire la classification des dégradations :

- **le trafic** : paramètre dont l'influence est certaine mais reste encore mal définie. La norme française NF P 98-130 propose des classes de trafic en fonction du trafic poids lourds journalier moyen (PL - MJA) de la voie la plus chargée de la chaussée, les poids lourds étant tous les véhicules de charge utile supérieure ou égale à 5 tonnes :



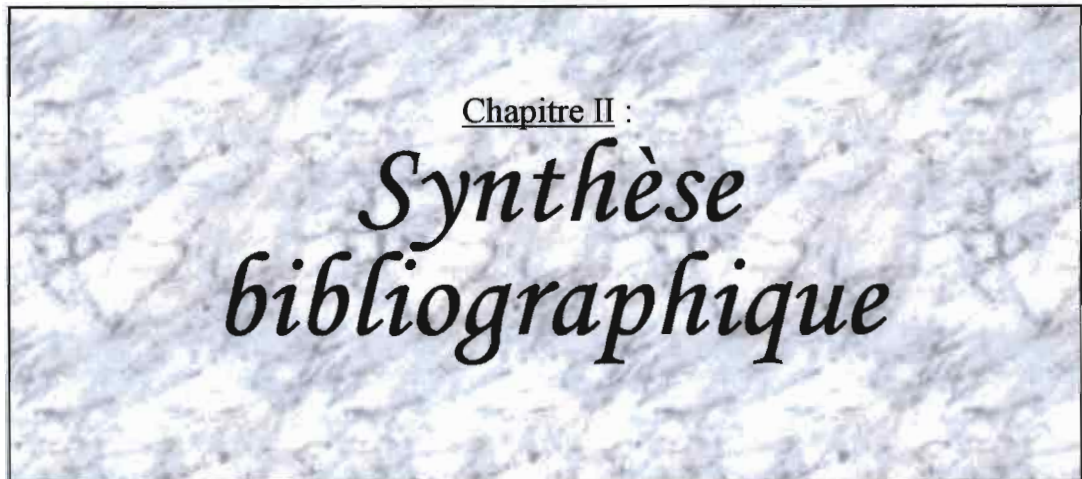
- **les conditions climatiques** : paramètres les plus influents sur le corps de chaussée ;
- **le dimensionnement du corps de chaussée** : paramètre qui devient de plus en plus prépondérant surtout dans le cas de chaussées anciennes de faible épaisseur (10 à 15 cm) ou lorsque le corps de chaussée est entièrement pollué ;
- **la qualité des matériaux et leur mise en œuvre** : deux critères essentiels. Ils sont responsables des deux tiers des dégradations.

II.4- EVOLUTION DES DEGRADATIONS

L'évolution des dégradations peut se faire de deux façons différentes :

- l'évolution d'une dégradation unique : évolution la moins fréquente ;
- l'évolution d'une dégradation, cause de l'apparition d'autres dégradations : évolution la plus fréquemment rencontrée, elle reste cependant la plus complexe.

Rappelons que notre étude s'est limitée aux dégradations visibles c'est-à-dire apparues en surface et observées par un usager de la route.



Chapitre II :
*Synthèse
bibliographique*

A. DEFINITIONS

Les enrobés sont des matériaux à faible pourcentage de vide souvent utilisés en revêtement de chaussées de trafic T3 à T0 (pour la classification des trafics voir chapitre I paragraphe II.3-). Ils sont généralement réalisés avec un bitume pur et exécutés à chaud, les granulats étant séchés et chauffés.

Leur granulométrie varie de 0/6 à 0/16. Si le granulat le plus gros est d'un calibre inférieur à 6.3 mm, on parlera d'enrobés fins. Si le granulat le plus gros est inférieur à 20 mm, on parlera de grave-bitume ou de grave-émulsion. Dans le cas intermédiaire, on parlera de béton bitumineux.

Suivant le pourcentage des vides, du filler d'ajout et de la granulométrie, on distingue les bétons bitumineux grenus et semi-grenus, les enrobés denses, les enrobés à module élevé, les enrobés spéciaux. Ces deux derniers sont rarement ou presque pas utilisés au Sénégal.

Les matériaux enrobés utilisés peuvent se classer de la façon suivante :

- enrobés pour couches de roulement ;
- béton bitumineux ;
- béton ;
- béton bitumineux clouté ;
- béton bitumineux coulé ;
- béton de goudron antikérosène ;
- enrobés fins ;
- enrobés ouverts,

I. L'ENROBE DENSE

L'enrobé dense est un mélange élaboré de granulat et d'une quantité de bitume utilisé en couche de liaison ou en couche de roulement.

II. LE BETON BITUMINEUX

II.1- DEFINITION

Le *béton bitumineux* est un mélange, parfaitement contrôlé et de haute qualité, réalisé à chaud. Il est constitué de granulats de bonne qualité et bien calibrés provenant exclusivement du concassage de roches massives et de bitume pur tenant à la fois

d'élément mouillant et agglutinant. Il doit être bien compacté en une masse uniforme et dense.

II.2- DOMAINES D'UTILISATION

Le béton bitumineux représente l'une des solutions techniques les plus avancées à l'heure actuelle pour la réalisation des couches de roulement des chaussées revêtues. Il s'applique à toutes les classes de trafic.

Sa parfaite adaptation à tous les seuils de trafic est due aux très hauts niveaux de performance qui lui sont accessibles compte tenu des caractéristiques de sa formulation (choix des constituants), de son mode de fabrication et des tolérances strictes qu'implique le contrôle de sa granularité notamment.

Par rapport aux autres mélanges bitumineux (sand-asphalt, enrobés denses...), le béton bitumineux présente les avantages suivants :

- **une meilleure homogénéité d'ensemble** qui résulte à la fois :
 - ⊕ du choix des granulats : roche massive saine et non altérée ;
 - ⊕ de la composition des granulats : un fuseau de granularité particulièrement étroit ;
 - ⊕ du mode de fabrication des granulats : reconstitution soignée en centrale, par classes granulaires.
- **une meilleure étanchéité** :
 - ⊕ le pourcentage de vides des mélanges après cylindrage est généralement faible, il est compris entre 6% et 9% ;
 - ⊕ l'apport de compactage dû au trafic conduit à terme à des revêtements pratiquement imperméables (teneur en vides inférieure à 6%).
- **une grande stabilité** qui peut atteindre des valeurs égales au double de celles obtenues avec un sand-asphalt ou avec un enrobé dense ;
- **une meilleure résistance à la glissance** due à la qualité des granulats utilisés : dureté, résistance accrue au polissage, forme mieux contrôlée... ;

Tout cela fait qu'en définitive, les bétons bitumineux s'adaptent aussi bien aux routes rurales traditionnelles à deux (2) voies, aux autoroutes à plusieurs voies de circulation qu'à la voirie urbaine (grande ou petite).

En outre, ils constituent le matériau idéal de renforcement de chaussée lorsque les épaisseurs à mettre en œuvre sont inférieures à 10 centimètres. Dans le cas où la couche de

base de renforcement serait constituée par d'autres matériaux du type souple (ou semi-rigide), le béton bitumineux demeure la solution idéale pour la couche de roulement, non seulement grâce à la contribution qu'il apporte au plan de la réduction des déflexions mais aussi grâce à ses propriétés antidérapantes et d'étanchéité.

Cependant, la technique du béton bitumineux comporte certaines sujétions qui sont :

- un coût de fabrication et de réalisation plus élevé (10 à 20%) que celui des enrobés traditionnels (sand-asphalt et enrobés denses) ;
- la réussite du comportement de la chaussée n'est assurée que si le corps de chaussée sous-jacent est particulièrement stable ; moins déformable que ses rivaux (sand-asphalt et enrobé dense), la chaussée représente une plus faible résistance aux grandes déformations et aucune lacune n'est tolérée dans le compactage de la couche de base ;
- la réalisation de la chaussée implique qu'une station élaborée de concassage et de reconstitution qui permet de satisfaire les exigences de granularité, de forme... soit disponible ;
- le compactage de la chaussée, compte tenu de l'angularité et de l'indice de concassage élevé des granulats, est relativement plus difficile à réaliser que dans le cas des enrobés à base de granulats moins anguleux ou possédant une proportion non négligeable de sable roulé ;
- enfin, compte tenu du prix et du soin nécessaire à la fabrication de la chaussée, une attention accrue mérite d'être accordée à la qualité de son environnement c'est-à-dire son système de drainage, la mise en œuvre de ses couches sous-jacentes, le contrôle d'exécution et la nature des accotements (protection de surface).

II.3- SPECIFICATIONS TECHNIQUES

Granulométrie béton bitumineux CEBTP				
	% passant			
Refus	0/8	0/10	0/12	0/14
A 6 mm	10-25	25-35	32-42	40-50
A 2 mm	30-50	55-70	57-72	60-75
Teneur en fines	6-10	5-9	4-8	4-8
		Fuseau LCPC-SETRA (% passant)		
✓ A l'essai Marshall à 60 ° C Stabilité > 1000 kg Compacité > 95% Fluage < 4 mm ✓ A l'essai Duriez dilaté à 18 ° C ✓ Résistance à la compression Rc > 6 Mpa ✓ Rapport $\frac{R'c}{Rc} \geq 0.75$ ✓ Compacité de 92 à 95 %		Tamis(mm)	0/12	0/14
		16	100	100
		14		94-100
		12	75-100	
		10		72-84
		8		
		6.3	60-85	56-66
		4		40-54
		2	40-80	28-40
		1.6		
0.8	28-68			
0.16	20-55			
0.08	6-22	7-10		
		5-10		

Tableau 1 : Spécifications sur les bétons bitumineux (source : CEBTP).

II.4- COMPOSANTES

II.4.1- *Le bitume*

II.4.1.1- Définition

Du latin *bitumen*, le bitume est défini par le dictionnaire de la langue française *Larousse* comme une matière organique naturelle ou provenant de la distillation du

pétrole, à base d'hydrocarbures, foncée, très visqueuse ou solide, utilisée dans le bâtiment et les travaux publics notamment pour le revêtement des routes.

D'une manière générale, les bitumes sont des produits naturels tirés des asphaltes ou existant à l'état naturel mais souvent fillérisés ou encore des produits extraits du pétrole, soit par distillation directe, soit par oxydation (infiltration d'air).

D'après la terminologie adoptée en France, *les bitumes sont des mélanges d'hydrocarbures naturels ou pyrogénés ou de leur combinaison non métallique, semi-solides ou solides, entièrement solubles dans le bisulfure de carbone.*

Les bitumes asphaltiques sont des bitumes natifs ou préparés par distillation, oxydation ou cracking, ayant des propriétés agglomérantes, et pratiquement solubles dans le sulfure de carbone. Les bitumes provenant de la distillation directe des pétroles asphaltiques sont à peu près les seuls utilisés en technique routière. Les bitumes oxydés ou bitumes soufflés, sont surtout utilisés en étanchéité, car leur viscosité varie relativement peu en fonction de la température et ils vieillissent très lentement ; par contre à dureté égale, ils sont moins ductiles que les bitumes de distillation directe. Les bitumes de cracking sont destinés à diverses agglomérations mais ne sont pas utilisés d'une manière générale en technique routière.

II.4.1.2- Historique et origine

⚡ *Historique*

Le bitume a été utilisé entre autres par les anciens Egyptiens et Syriens. Le bitume qu'ils utilisaient était un matériau provenant de plusieurs infiltrations d'huile. Le pétrole brut montait en surface et les fractions plus légères s'évaporaient dans la nature. Le résidu visqueux restant contenait normalement plusieurs quantités d'eau, des constituants des sols et d'autres impuretés. A partir de ce résidu visqueux, étaient obtenus le combustible pour les lampes de même que les produits pétroliers pour les mastics, l'imperméabilisation et le pavage. Ces matériaux étaient obtenus par des méthodes grossières et lentes de distillation. Mais avec le développement des méthodes modernes de raffinage du pétrole brut domestique, les matériaux bitumineux peuvent être obtenus à moindre coût.

✚ *Origine*

L'origine des bitumes naturels a été longtemps controversée et quatre théories différentes ont été émises :

- la **théorie volcanique** qui expliquait la formation des bitumes naturels par combinaison directe du carbone et de l'hydrogène, à haute pression et à haute température, par des condensations successives jusqu'aux produits les plus lourds. Cette théorie est aujourd'hui abandonnée ;
- la **théorie houillère** accorde aux bitumes une origine végétale comme la houille, les distillations et transformations s'étant effectuées à l'intérieur de la terre ;
- la **théorie de l'asphaltisation** des pétroles explique la formation des bitumes par polymérisation et déshydrogénation des pétroles au contact de l'air et des eaux sulfatées (origine du soufre contenu dans le bitume) ;
- la **théorie organique**, qui est la plus probable, attribue une origine animale à la formation des bitumes, par décomposition des infusoires et des mollusques sédimentés, au voisinage des mers anciennes (mer Caspienne, mer d'Aral, mer Morte...). Ce serait notamment l'origine des bitumes de Judée et des pétroles de Bornéo.

Les bitumes naturels se rencontrent à l'état natif à la surface du lac de Trinidad et dans l'archipel des Bermudes. Les bitumes de Trinidad contiennent 56% de bitume pur ; quant aux bitumes naturels de Cuba, ils contiennent 75 à 80% de bitume pur. Ces bitumes subissent une épuration par fusion, ce qui est improprement appelé raffinage. Ils ont pour origine les roches asphaltiques, généralement des calcaires imprégnés, que l'on trouve en France dans le Gard à Pont-du-Château et en Suisse dans le Val Travers ; ce sont des roches brunes contenant 8 à 10% de bitume.

Quant aux bitumes préparés industriellement, ils sont réalisés à base de trois sortes de pétrole :

- les pétroles paraffiniques (Pennsylvanie, Galicie, Canada, Ohio) qui ne tiennent pas de bitume à l'état naturel mais peuvent en donner par transformations se produisant en cours de distillation ;
- les pétroles paraffiniques (Bakou, Californie, Venezuela) qui sont exempts de paraffines dures et qui contiennent beaucoup de bitume obtenu comme résidu de distillation ;
- les pétroles asphalto-paraffiniques (Illinois, Mexique, Texas, Roumanie) qui donnent des bitumes mais ayant une teneur en paraffine dure plus ou moins forte, qu'il convient

d'éliminer car les paraffines en excès nuisent aux qualités de cohésion et d'adhésivité des bitumes.

La préparation industrielle des bitumes asphaltiques ou brais de pétrole comprend trois opérations principales :

- la déshydratation des pétroles (séparation de l'eau libre ou émulsionnée) ;
- la distillation fractionnée, séparant les composants du pétrole brut en plusieurs groupes homogènes ;
- le raffinage, destiné à purifier certains des produits de distillation.

A ces procédés se rattachent un certain nombre d'opérations à savoir : la réfrigération, la filtration, le cracking, l'hydrogénation, la polymérisation, le soufflage.

II.4.1.3- Classification

Les bitumes peuvent être classés suivant leur origine :

- les bitumes naturels : le bitume natif de Trinidad, le bitume natif des Bermudes ;
- les bitumes d'extraction de roches : le bitume extrait des asphaltites naturels notamment des calcaires asphaltiques ;
- les bitumes contenus dans du sable : découverts en Afrique (Angola, Congo, Madagascar) ;
- les bitumes obtenus par calcination de certaines roches contenant des hydrocarbures telles que les schistes bitumineux d'Autun ou les schistes bitumineux d'Aveyron ;
- les bitumes asphaltiques de distillation ou brais de pétrole ;
- les bitumes asphaltiques soufflés ;
- les bitumes asphaltiques de cracking.

Ils peuvent être également classés suivant leurs possibilités d'emploi routier. C'est le classement suivant la dureté ou plutôt suivant la pénétration (essai sur le bitume se mesurant par l'enfoncement, en dixièmes de millimètre, durant 5 s à la température de 25°C, d'une aiguille standard chargée de 100g).

Les bitumes routiers sont de six (6) catégories :

- les bitumes durs de pénétration 40/50 et 60/70 ;
- les bitumes semi-durs de pénétration 80/100 ;
- les bitumes semi-mous de pénétration 180/220 ;
- les bitumes mous de pénétration 280/300 ;
- les bitumes très mous de pénétration 300/350 ;

➤ les bitumes fluides (cut-backs et road-oils) de pénétration supérieure à 350.

Les quatre (4) premières catégories (durs, semi-durs, semi-mous et mous) servent pour les répandages à chaud ou pour la fabrication des enrobés, des bétons et des mortiers bitumineux ainsi que des émulsions et du goudron-bitume.

Au Sénégal, ce sont le 40/50 et 60/70 qui sont les plus utilisés. Ils s'adaptent mieux à nos conditions climatiques. En effet, par temps chaud le bitume perd de sa stabilité, ce qui sous l'effet du trafic (principalement), ou de la pente, permet sa migration ou son déplacement latéral. Il est donc plus judicieux d'utiliser des bitumes de faible pénétrabilité dans les zones tropicales. De plus, ils constituent un compromis heureux aussi bien au plan de la susceptibilité au vieillissement qu'à ceux du coût, des économies de chauffage ou des facilités de mise en œuvre.

II.4.1.4- Spécifications techniques

<i>Caractéristiques</i>	<i>Classes de bitumes</i>			
	180/220	80/100	60/70	40/50
Pénétrabilité à 25°C, 100g, 5s (1/10 mm)	180 à 220	80 à 100	60 à 70	40 à 50
Point de ramollissement bille et anneau (°C)	34 à 43	41 à 51	43 à 56	47 à 60
Pourcentage de pénétration restante après perte de masse au chauffage par rapport à la pénétrabilité initiale	> 70	> 70	> 70	> 70
Perte de masse au chauffage (163°C pendant 5 H) en %	< 2	< 2	< 1	< 1
Point d'éclair (vase ouvert) en °C	230	230	230	230
Ductilité à 25°C (cm)	> 100	> 100	> 80	> 60
Solubilité dans le tétrachloroéthylène (C ₂ Cl ₄) en %	> 99.5	> 99.5	> 99.5	> 99.5
Teneur en paraffine (%)	< 4.5	< 4.5	< 4.5	< 4.5
Densité relative à 21° C (au pycnomètre)	1.00 à 1.07	1.00 à 1.07	1.00 à 1.10	1.00 à 1.10

Tableau 2 : Bitumes purs : spécification française 65-001[7]

II.4.2- *Les granulats*

Les granulats créent la rugosité du revêtement, et donc lui confèrent ses qualités drainantes en surface.

Pour réaliser cette fonction, les granulats doivent posséder des qualités d'adhésion vis-à-vis du liant, et de résistance vis-à-vis de l'agression de la circulation et des agents atmosphériques.

La qualité du granulat est liée soit à la nature de la roche d'origine (résistance aux chocs, à l'usure et au polissage) soit à la fabrication (granularité, propreté, forme et angularité).

II.4.2.1- Origine et nature

Il s'agit de granulats provenant du concassage de roches massives ou du concassage de gravillons roulés d'origine sédimentaire, pourvu que le rapport entre la dimension minimale de ces derniers et la dimension maximale du granulat concassé soit au moins égale à 4.

Pour la présente étude, les granulats utilisés sont les concassés de basalte de Diack. Pour les concassés, le traitement consiste à diviser le matériau en plusieurs fractions bien définies du point de vue granulométrique ou alors à réduire les gros blocs sans criblage pour avoir un tout venant de concassage.

II.4.2.2- Granularité

- ***Seuils de granularité et classes granulaires***

Les dimensions minimale et maximale des granulats sont respectivement d et D déterminées sur des tamis carrés et exprimées en mm.

Les seuils choisis pour la confection des bétons bitumineux sont 0/12, 0/14 et 0/16.

Les classes granulaires généralement utilisées sont :

- pour le sable : 0/2 ou 0/4 ;
- pour les gravillons : 0/3 – 2/6.3 – 3/8 – 4/6.3 – 4/10 – 6.3/10 – 6.3/14 – 10/14 – 8/16 et 16/25.

Au Sénégal les classes habituellement utilisées sont : 0/3 – 3/8 – 8/16 et rarement 16/25. Ces classes sont obtenues à l'aide de passoires.

Les spécifications relatives à l'étalement des granularités sont assez sévères, de façon à obtenir une mosaïque homogène.

Les classes sont reconstituées en vue de fournir un matériau dont la granularité globale s'inscrit dans les fuseaux de référence suivants :

<i>Tamis en mm</i>	<i>% Passant</i>
12.5	90 – 100
10	79.5 – 92.5
6.3	55 – 76
4	42 – 65
2	29 – 51.5
1	17.5 – 38.5
0.315	6 – 20
0.2	4.5 – 16
0.08	2 – 9

Tableau 3: Fuseau 0/12 de granularité des bétons bitumineux [4]

<i>Tamis en mm</i>	<i>% Passant</i>
16	100
12.5	84 – 94
10	84 – 72
6.3	56 – 67
4	40 – 54
2	28 – 40
1	21.5 – 31.5
0.315	13 – 19.5
0.2	11 – 16
0.08	7 – 10

Tableau 4: Fuseau 0/16 de granularité des bétons bitumineux [4]

• **Formule semi-grenue ou formule grenue**

Le choix est porté sur une formule du type semi-grenue (teneur en mortier plus élevée) de préférence aux formules grenues pour :

- faciliter le dosage ;
- faciliter le compactage et permettre l'obtention de meilleures compacités ; les formules contenant davantage de squelette offrent une plus grande résistance aux compactages ;
- atténuer les risques de ségrégation.

II.4.2.3- Angularité-indice de concassage

L'angularité influe sur les caractéristiques antidérapantes du revêtement, mais aussi sur la cohésion de la mosaïque.

En règle générale, les granulats doivent avoir une excellente angularité et un indice de concassage égal à 100. Cette condition est satisfaite dans tous les cas pour les granulats provenant du concassage de roches massives.

II.4.2.4- Propreté

La propreté est la proportion d'éléments P (norme NF P 18-591) passant au tamis de 0.5 mm y compris les éléments adhérents aux granulats. Elle est appréciée par l'essai d'équivalent de sable (norme NF P 18-598).

II.4.2.5- Forme

Soient L la longueur du granulat, G sa grosseur et E son épaisseur.

Un granulat est considéré comme « plat » lorsque le rapport G/E est supérieur à 1.56. Le coefficient d'aplatissement A (norme NF P 18-561) est le pourcentage en poids de granulats plats.

La forme des granulats pour la confection du béton bitumineux sera aussi cubique que possible. L'inégalité $L+G < 6.E$ devra être satisfaite pour au moins 80% en poids d'entre eux si le trafic est de classe T3 ou T2 et pour 85% au moins si le trafic est de classe plus élevée.

Une trop forte proportion de granulats plats fragilise les granulats et entraîne une modification du « pouvoir couvrant », donc des dosages en granulats et liants. De ce fait,

le pourcentage d'éléments plats devra être au maximum de 20% pour T4, T3 et de 15% pour T2, T1, T0.

II.4.2.6- Dureté

La dureté est appréciée par l'essai Los Angeles LA (norme NF P 18-573) et le Micro Deval humide MDE (norme NF P 1-572).

<i>Essais</i>	<i>Classes de trafic</i>				
	T4	T3	T2	T1	T0
Los Angeles	< 35	< 35	< 30	< 30	< 30
Deval	> 7	> 7	> 8	> 8	> 8

Tableau 5 : Limites de dureté pour les granulats [4]

II.4.2.7- Adhésivité

L'essai d'adhésivité sur le couple liant-granulat effectué à la plaque Vialit (granulat sec) doit donner les résultats suivants :

- supérieur ou égal à 90% pour l'essai à 20°C ;
- supérieur ou égal à 75% pour l'essai à 60° C

Pour obtenir ces résultats le recours au dopage des constituants est parfois nécessaire.

II.4.2.8- Coefficient de polissage accéléré

La tendance au polissage des granulats (génératrice de glissance) est appréciée par l'essai normalisé CPA (norme NF P 18-575).

L'usage de cette caractéristique est introduit en raison des problèmes d'accident rencontrés.

Les critères de choix des granulats, résumant toutes ces caractéristiques, sont consignés dans le tableau suivant :

<i>Trafic</i> <i>(Essieux de 13 tonnes)</i>	<i>Spécification</i>	<i>Couche de liaison</i>	<i>Couche de roulement</i>
<i>T4</i> <i>(< 25/j)</i>	A	≤ 30	≤ 30
	LA	≤ 30	≤ 25
	MDE	≤ 25	≤ 20
	CPA		≥ 0.45
	P	≤ 2	≤ 2
	ES	≥ 50	≥ 50
<i>T3</i> <i>(25 à 150 / j)</i>	A	≤ 30	≤ 25
	LA	≤ 25	≤ 20
	MDE	≤ 20	≤ 15
	CPA		≥ 0.50
	P	≤ 2	≤ 2
	ES	≥ 50	≥ 50
<i>T2</i> <i>(150 à 300 / j)</i>	A	≤ 25	≤ 20
	LA	≤ 25	≤ 20
	MDE	≤ 20	≤ 15
	CPA		≥ 0.50
	P	≤ 2	≤ 2
	ES	≥ 50	≥ 50
<i>T1</i> <i>(300 à 750 / j)</i>	A	≤ 20	≤ 20
	LA	≤ 25	≤ 20
	MDE	≤ 20	≤ 15
	CPA		≥ 0.50
	P	≤ 2	≤ 2
	ES	≥ 50	≥ 50
<i>T0</i> <i>(> 750 / j)</i>	A	≤ 20	≤ 20
	LA	≤ 25	≤ 15
	MDE	≤ 20	≤ 15
	CPA		≥ 0.50
	P	≤ 2	≤ 2
	ES	≥ 50	≥ 50

Tableau 6: Caractéristiques des Granulats pour techniques routières [7]

- A** : Aplatissement
- CPA** : Coefficient de Polissage Accéléré
- ES** : Equivalent de Sable
- LA** : Los Angeles
- MDE** : Micro Deval humide
- P** : Propreté

II.4.3- Le filler

Un filler proprement dit se caractérise par le degré de sa finesse de mouture avec une granulométrie variant de 1 à 80 microns. Il intervient dans le mélange par sa nature minéralogique, sa finesse de mouture et son dosage. Le rôle du filler dans le mélange est de combler les vides, de contribuer à une répartition uniforme du liant dans le mélange, d'absorber une grande partie des huiles volatiles du liant ralentissant ainsi son vieillissement.

Compte tenu des spécifications précédentes, la teneur totale en filler des granulats doit être comprise entre 5 et 9% [4]. Cela est nécessaire pour obtenir les pourcentages de vide prescrits. Par ailleurs, pour conférer au mélange la meilleure cohésion possible, il est essentiel que le rapport filler/bitume soit maintenu entre 1.1 et 1.4 [4].

Cette notion du rapport filler/bitume est très importante à retenir encore qu'il faille préciser celui des deux paramètres que l'on fait varier (filler ou au contraire bitume). En effet, pour une teneur en filler constante, la compacité des mélanges augmentent lorsque le rapport filler/bitume diminue. En revanche, pour une teneur en bitume donnée et constante, la compacité des mélanges sera d'autant plus élevée que la proportion de filler est importante.

Par conséquent, si la compacité est trop élevée au regard des normes prescrites, nous pouvons y remédier soit en diminuant le rapport filler/bitume (à dosage en bitume constant) soit en l'augmentant (à teneur en filler constante).

Compte tenu du pourcentage de fines habituel (inférieur à 20%) de la classe granulaire 0/3, l'addition d'un filler d'apport s'avérera nécessaire dès que la proportion dans laquelle intervient cette dernière dans le béton bitumineux, est inférieure à 30%.

Le filler utilisé sera soit du ciment, soit de la chaux (qui améliorent tous les deux l'adhésivité et la résistance des mélanges) soit éventuellement du sable broyé.

III. ROLE DE LA COUCHE DE ROULEMENT

La couche de roulement est la couche superficielle des chaussées. C'est la couche la plus sollicitée puisqu'elle subit directement les agressions du trafic et des intempéries. Elle doit par conséquent absorber la majeure partie des efforts horizontaux et verticaux .

D'autre part, elle doit garantir une bonne adhérence et une bonne régularité superficielle afin d'éviter les secousses brutales et les vibrations excessives et d'assurer ainsi la sécurité routière. Sa rugosité doit être suffisamment bonne pour conférer à la

chaussée des propriétés antidérapantes. Ces propriétés doivent être d'autant meilleures que la vitesse de roulement est élevée.

Elle contribue enfin largement à la protection des couches d'assise contre la pénétration des eaux grâce à sa fonction d'étanchéité.

Ainsi, le dimensionnement et le mélange utilisé pour la réalisation des couches de roulement, doivent tenir compte des effets du trafic sur le revêtement qui peuvent se manifester par des détériorations produites suite à l'accumulation de déformations plastiques dues à l'application répétée des charges de trafic ; en particulier dans des conditions de hautes températures ou de faibles vitesses d'application de charge.

Les effets climatiques tels que l'eau, l'air, la lumière, la température ainsi que les agents chimiques, quant à eux, contribuent au vieillissement rapide du revêtement.

B. ANALYSE DE QUELQUES TRONCONS DE ROUTE EXISTANTS

I. LES TRONCONS DE ROUTE ETUDIES

Afin d'avoir un éventail d'étude assez représentatif du réseau routier sénégalais, les tronçons ont été choisis dans les diverses régions du pays en tenant compte de leur âge.

Ainsi, l'analyse a porté sur les tronçons suivants :

- ✚ Tronçons de 15 ans d'âge
 - Sébikotane – Thiès
 - Fatick -Kaolack
- ✚ Tronçons de 10 ans d'âge
 - Thiès – Mékhé
 - Séo – Thiénaba
- ✚ Tronçons de 5 ans d'âge
 - Patte d'Oie – Fass Mbao
 - Mékhé – Saint-Louis
 - Guéoul – Baralé II
- ✚ Tronçons moins de 5 ans d'âge
 - Fass Mbao – Bargny
 - Touba – Kébémér – Lompul
- ✚ Tronçons d'un an au moins
 - Traversée de Bargny
 - Traversée de Rufisque

II. RELEVÉ VISUEL DES DÉGRADATIONS

La méthode utilisée pour le relevé visuel est VIZIR, méthode manuelle ou assistée par ordinateur pour l'estimation des besoins en entretien d'un réseau routier.

Elle répertorie les dégradations concernant essentiellement les chaussées souples à revêtement bitumineux et les classe en deux catégories [5] :

- **les dégradations de type A** : caractérisant un état structurel de la chaussée, elles sont issues d'une insuffisance de capacité structurelle de la chaussée et interviennent dans la recherche de solution en association avec d'autres critères et notamment la portance caractérisée par la déflexion statique. Ce sont : la déformation, l'orniérage, la fissuration (de fatigue), le faïençage ;
- **les dégradations de type B** : leur origine est soit un défaut de mise en œuvre, soit un défaut de qualité d'un produit, ou alors une condition locale particulière que le trafic peut accentuer bien évidemment. Ce sont les fissures longitudinales de joint, les fissurations transversales de retrait thermique, les fissurations longitudinales ou transversales de retrait d'argile (dessiccation), les nids-de-poule, les arrachements et de manière générale les dégradations de type ressuaage, plumage, etc.

Le relevé, effectué manuellement, a permis de noter les différentes dégradations. Vu le thème de l'étude, il a porté essentiellement sur les dégradations du revêtement tels que le fluage, le ressuaage, les bourrelets, les arrachements, les fissurations (craquelages), les plumages (désenrobage), les faïençages, etc.

Les résultats du relevé sont représentés dans le tableau ci-après :

Contribution à la mise en œuvre d'une formulation optimale de béton bitumineux :
Application aux concassés de basalte de Diack

Tronçons	Dégradations						Observations
	Fissurations	Fluage	Ressuage	Arrachement Plumage Désestrobage	Faiénçage	Peignage	
Sébikotane - Thiès	*			*	*		Fissuration généralisée Enrobé fermé
Fatick-Kaolack	*			*	*	*	Route très dégradée
Thiès – Mékhé	*			*			Micro-fissuration Enrobé ouvert
Séo – Thiénaba	*			*			Enrobé ouvert
Patte d'Oie – Fass Mbao	*			*	*		Désestrobage fréquent Enrobé fermé
Mékhé – Saint-Louis	*		*	*	*	*	Enrobé ouvert
Guéoul – Baralé II	*		*	*	*		
Fass Mbao – Bargny	*			*			Bon état en général
Touba – Kébémér – Lompul							Chaussée en bon état (neuve), enrobé fermé
Traversée de Rufisque	*	*		*			Enrobé ouvert
Traversée de Bargny				*			Enrobé ouvert

**: présence du type de dégradation*

Note : Quelques photos de dégradations sont illustrées en annexe 2

Tableau 7: Résultats du relevé visuel

De l'analyse de ce relevé visuel, il ressort que tous les tronçons, excepté Touba – Kébémér – Lompul, présentent des fissurations et des arrachements qui sont localisés pour les tronçons les plus récents et continus pour les plus âgés. Cela traduit une évolution progressive des dégradations dans le temps.

Le tronçon Fatick-Kaolack est le plus dégradé. Il présente plusieurs types de dégradations continues à gravité élevée et de nombreuses zones de réparation elles-même dégradées.

La traversée de Rufisque présente du fluage sur les côtés bien qu'elle ait été refaite il y a moins d'un an. La cause peut être l'utilisation d'un pourcentage de bitume élevé. A cela s'ajoute le trafic lourd et lent qui y transite.

Le ressuage, bien que localisé, s'observe sur les tronçons Mékhé – Saint-Louis et Guéoul – Baralé II dont les formulations ont été faites avec du bitume 40/50.

Le tronçon Touba – Kébémér – Lompul ne présente pratiquement pas de dégradations. Cependant, son appréciation reste difficile car il a été repris très récemment.

La remarque générale faite lors du relevé est que la majeure partie des tronçons visités présentent un enrobé ouvert. Cela peut s'expliquer soit par un manque de bitume ou de filler, soit par l'utilisation d'éléments grossiers. Ce type d'enrobé est exposé aux arrachements donc à une dégradation progressive du revêtement puis de la chaussée.

III. ANALYSE CRITIQUE DES FORMULATIONS

Les formulations pour les différents tronçons visités sont consignées dans le tableau ci-après :

<i>Tronçons</i>	<i>Formulations</i>					
	<i>Formule</i>	<i>Granulats</i>			<i>Bitume</i>	
		<i>Nature</i>	<i>Classes</i>	<i>Pourcentages</i>	<i>Classes</i>	<i>Pourcentages</i>
Sébikotane - Thiès	0/8	Grès Basalte Basalte	0/3 0/3 3/8	25 25 50	60/70	6
Thiès – Mékhé	Bicouche 0/16	Gravillons Gravillons	1 ^{ère} couche : 3/8 2 ^{ème} couche : 8/16		400/600	
Séo – Thiénaba	0/16	Basalte Basalte Basalte Sable	0/3 3/8 8/16	30 30 30 10	40/50	5.5
Patte d'Oie – Fass Mbao	0/16	Basalte Basalte Basalte	0/3 3/8 8/16	55 30 15	60/70	5.6
Mékhé – Saint-Louis	0/12	Basalte Basalte Basalte	0/3 3/5 5/15	45 15 40	40/50	6

Contribution à la mise en œuvre d'une formulation optimale de béton bitumineux :
Application aux concassés de basalte de Diack

Guéoul – Baralé II	0/12	Basalte	0/3	45	40/50	6.17
		Basalte	3/8	30		
		Basalte	8/16	25		
Fass Mbao – Bargny	0/16	Basalte	0/3	48	40/50	5.5
		Basalte	3/8	12		
		Basalte	8/16	40		
Touba – Kébémér – Lompul	0/16	Basalte	0/3	55	60/70	5.3
		Basalte	3/8	30		
		Basalte	8/16	15		
Traversée de Bargny	0/16	Basalte	0/3	50	60/70	5.5
		Basalte	3/8	30		
		Basalte	8/16	20		

Tableau 8: Formules utilisées sur les différents tronçons étudiés

La majeure partie des tronçons routiers visités a été dimensionnée avec le trafic T2, donc le paramètre trafic ne peut pas constituer un élément d'analyse objectif. Cependant, il a été constaté que le trafic T2 était largement dépassé sur certains axes et c'est ce qui justifie les désagréments structurels constatés sur ces derniers.

Les résultats du relevé visuel seront étudiés en se basant essentiellement sur la formulation qui a été retenue lors de la réalisation de ces tronçons.

Parmi les formulations utilisées, certaines n'ont pas pu être traitées car les matériaux les composant n'étaient pas disponibles dans le marché de base de matériaux routiers sénégalais.

En effet, les grilles utilisées au niveau des carrières de concassage ne donnent que du 0/3, 3/8 et 8/16.

L'analyse critique n'a donc porté que sur les tronçons suivants :

- Guéoul – Baralé II ;
- Touba – Kébémér – Lompul ;
- Traversée de Bargny ;
- Patte d'Oie – Fass Mbao ;
- Fass Mbao – Bargny.

Elle visait à vérifier l'insertion des formulations utilisées dans leurs fuseaux de référence respectifs et à apprécier leurs performances en comparant leurs caractéristiques à celles prescrites par les normes.

Cette vérification s'est faite en utilisant les données relatives à chaque tronçon (classes granulaires, proportion des différentes composantes). Nous avons ensuite calculé la surface spécifique et le module de richesse à partir du pourcentage de bitume et de la masse volumique réelle des granulats. Les formules utilisées sont :

$$P = 5 * \Sigma^{1/2} * \alpha \Rightarrow \Sigma = [P / (5 * \alpha)]^2 \text{ où } \alpha = 2.65 / \text{MVR}$$

$$K = P * \Sigma^{-1/5} \quad \text{avec : } P = \text{pourcentage de bitume (\%)}$$

$$\Sigma = \text{surface spécifique du granulat (m}^2 / \text{kg)}$$

α = coefficient correcteur destiné à tenir compte de la masse volumique des granulats si elle diffère de 2.65 g / cm³

$$K = \text{module de richesse (m)}$$

$$\text{MVR} = \text{masse volumique réelle des granulats (g/ cm}^3\text{)}$$

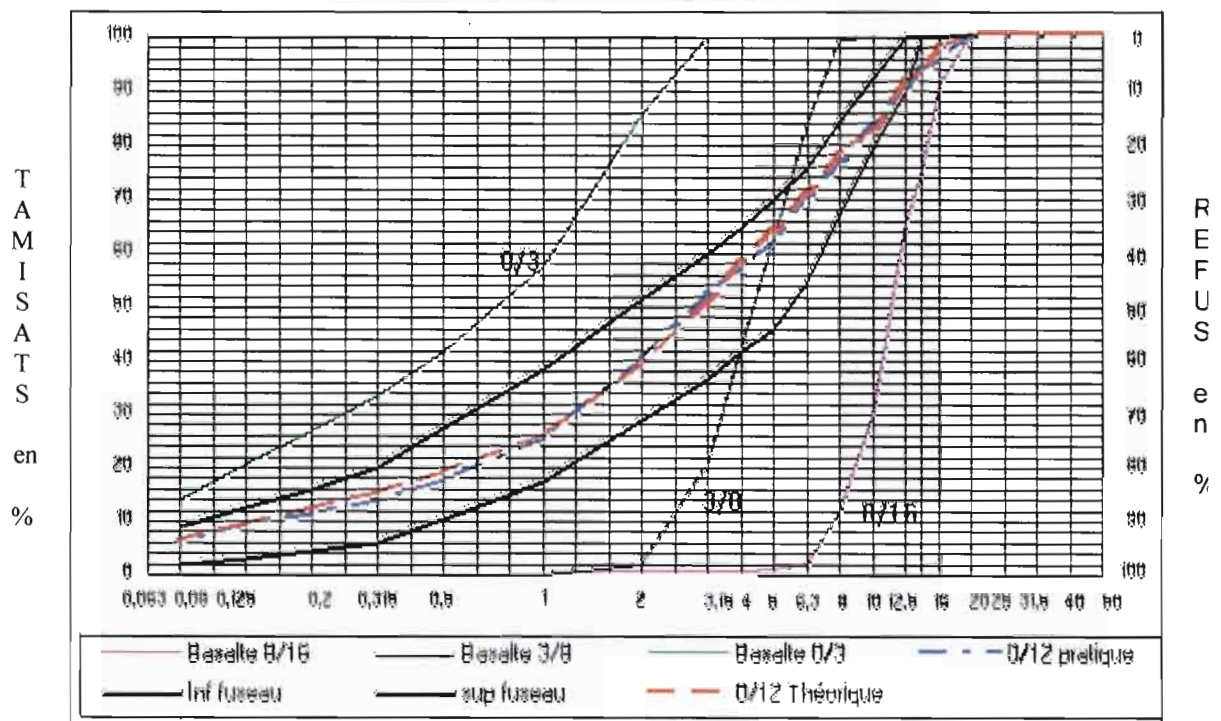
Ce qui donne les fiches de résultats ci-après :

GUEOUL-BARALE II

Fuseau 0/12

TAMIS mm	Basalte 8/16	Basalte 3/8	Basalte 0/3		courbe mélange	Lim.inf. fuseau	Lim.sup. fuseau	courbe mélange
50								100,0
40								100,0
31,5								100,0
25								100,0
20	100,0							100,0
16	90,2				95,4			97,6
14	74,0				93,5			93,5
12,5	64,7				90,5	90,0	100,0	91,2
10	29,8				83,1	79,5	92,5	82,5
8	11,1	99,7			76,3	67,5	84,5	77,7
6,3	1,6	84,0			70,4	55,0	76,0	70,6
5	0,3	62,6			61,9	46,0	70,0	63,9
4	0,0	42,5			57,0	42,0	65,0	57,8
3,15	0,0	20,2	99,7		52,0	36,5	60,0	50,9
2	0,0	1,7	85,3		40,1	29,0	51,5	38,9
1	0,0	0,0	57,0		25,0	17,5	38,5	25,7
0,500	0,0	0,0	41,2		17,0	10,5	27,5	18,5
0,315	0,0	0,0	32,8		13,4	6,0	20,0	14,8
0,200	0,0	0,0	26,2		10,7	4,5	16,0	11,8
0,125	0,0	0,0	20,0		8,8	3,0	12,5	9,0
0,080	0,0	0,0	13,4		5,7	2,0	9,0	6,0
%	25	30	45					100
MVR	2,940	2,940	2,940					2,940
P				6,17		α		0,901
K				4,27		\sum		10,546
MVR agrégats				2,940		$\sum^{-1/5}$		1,6018
MVR enrobés				2,654		Filler total (%)		6,0

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

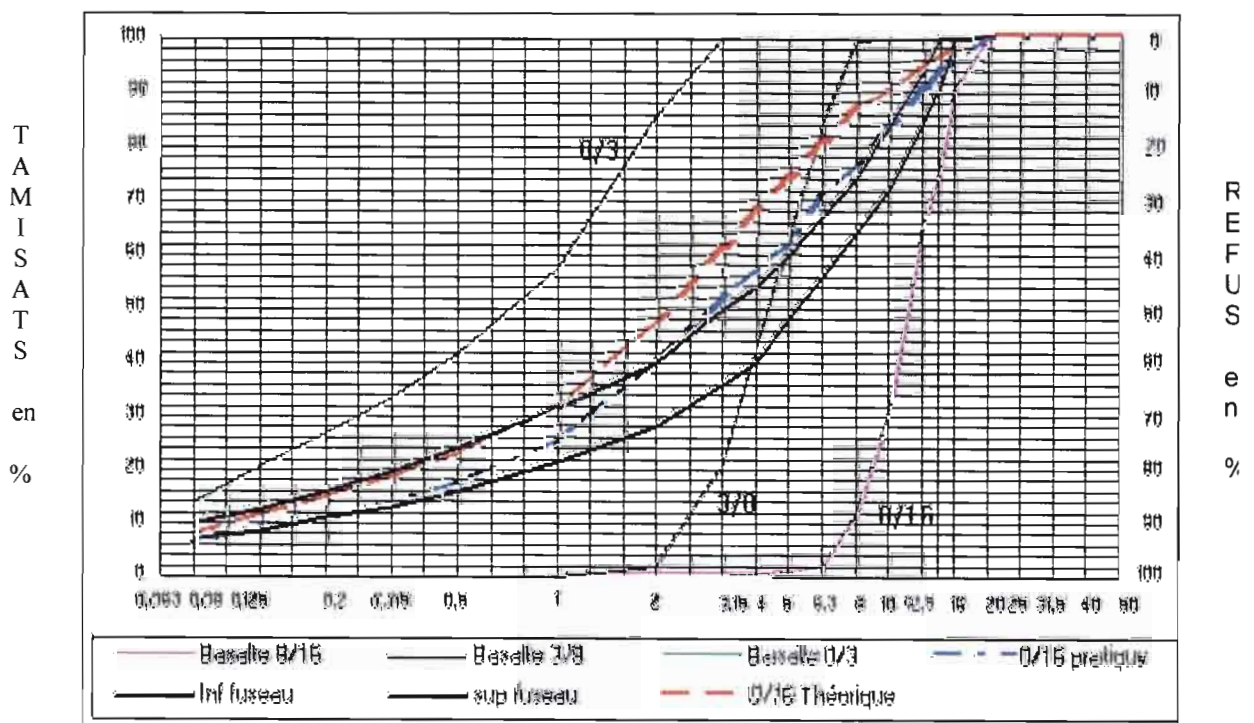


TOUBA-KEBEMER-LOMPOUL

Fuseau 0/16

TAMIS Mm	Basalte 8/16	Basalte 3/8	Basalte 0/3		courbe mélange	Lim.inf. fuseau	Lim.sup. fuseau	courbe mélange
50								100,0
40								100,0
31,5								100,0
25								100,0
20	100,0							100,0
16	90,2				95,4	100,0	100,0	97,1
14	74,0				93,5	91,0	100,0	92,2
12,5	64,7				90,5	84,0	94,0	89,4
10	29,8				83,1	72,0	84,0	78,9
8	11,1	99,7			76,3	64,0	74,0	73,3
6,3	1,6	84,0			70,4	56,0	67,0	68,1
5	0,3	62,6			61,9	48,0	60,0	64,5
4	0,0	42,5			57,0	40,0	54,0	61,4
3,15	0,0	20,2	99,7		52,0	36,0	50,0	57,9
2	0,0	1,7	85,3		40,1	28,0	40,0	47,2
1	0,0	0,0	57,0		25,0	21,5	31,5	31,4
0,500	0,0	0,0	41,2		17,0	16,0	24,0	22,7
0,315	0,0	0,0	32,8		13,4	13,0	19,5	18,0
0,200	0,0	0,0	26,2		10,7	11,0	16,0	14,4
0,125	0,0	0,0	20,0		8,8	8,5	12,5	11,0
0,080	0,0	0,0	13,4		5,7	7,0	10,0	7,4
%	15	30	55					100
MVR	2,940	2,940	2,940					2,940
P				5,30		α		0,901
K				3,54		\sum		12,714
MVR agrégats				2,940		$\sum^{-1/5}$		1,6629
MVR enrobés				2,689		Filler total		7,4

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

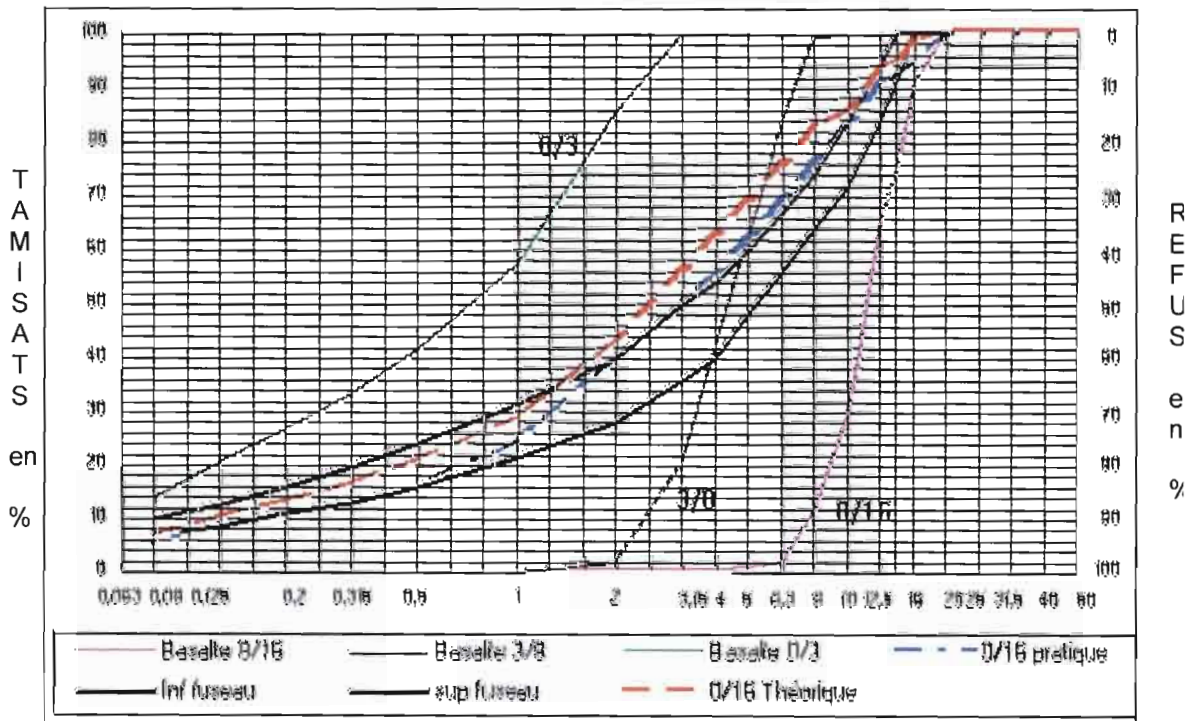


TRAVERSEE DE BARGNY

Fuseau 0/16

TAMIS mm	Basalte	Basalte	Basalte	courbe mélange	Lim.inf.	Lim.sup.	courbe mélange
	8/16	3/8	0/3		fuseau	fuseau	
50							100,0
40							100,0
31,5							100,0
25							100,0
20	100,0						100,0
16	90,2			95,0	100,0	100,0	98,0
14	74,0			92,0	91,0	100,0	94,8
12,5	64,7			90,5	84,0	94,0	92,9
10	29,8			83,1	72,0	84,0	86,0
8	11,1	99,7		75,9	64,0	74,0	82,1
6,3	1,6	84,0		69,0	56,0	67,0	75,5
5	0,3	62,6		62,0	48,0	60,0	68,8
4	0,0	42,5		56,0	40,0	54,0	62,8
3,15	0,0	20,2	99,7	50,0	36,0	50,0	55,9
2	0,0	1,7	85,3	40,0	28,0	40,0	43,2
1	0,0	0,0	57,0	24,0	21,5	31,5	28,5
0,500	0,0	0,0	41,2	16,0	16,0	24,0	20,6
0,315	0,0	0,0	32,8	13,0	13,0	19,5	16,4
0,200	0,0	0,0	26,2	10,5	11,0	16,0	13,1
0,125	0,0	0,0	20,0	8,5	8,5	12,5	10,0
0,080	0,0	0,0	13,4	5,0	7,0	10,0	6,7
%	20	30	50				100
MVR	2,940	2,940	2,940				2,940
P			5,50		α		0,901
K			3,74		Σ		11,630
MVR agrégats			2,940		$\Sigma^{-1/5}$		1,6335
MVR enrobés			2,681		Filler total (%)		6,7

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

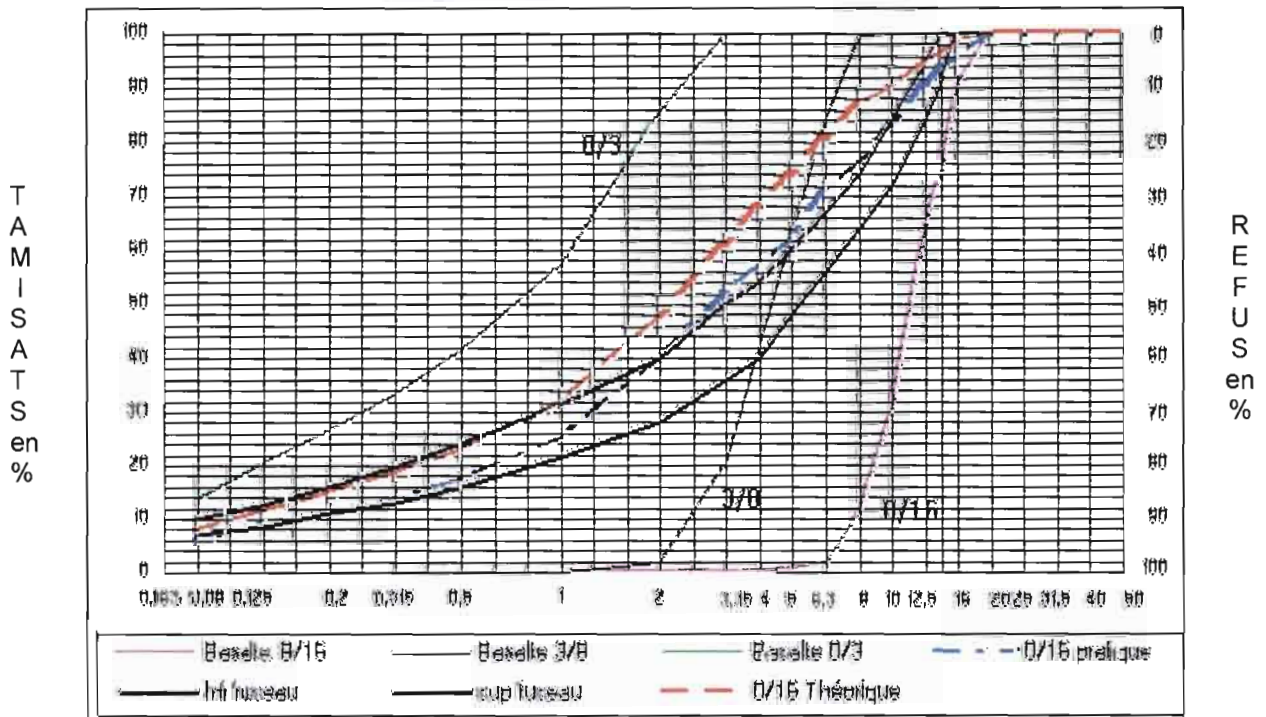


PATTE D'OIE - FASS MBAO

Fuseau 0/16

TAMIS mm	Basalte 8/16	Basalte 3/8	Basalte 0/3		courbe mélange	Lim.inf. fuseau	Lim.sup. fuseau	courbe mélange
50								100,0
40								100,0
31,5								100,0
25								100,0
20	100,0							100,0
16	90,2				95,4	100,0	100,0	98,5
14	74,0				93,5	91,0	100,0	96,1
12,5	64,7				90,5	84,0	94,0	94,7
10	29,8				83,1	72,0	84,0	89,5
8	11,1	99,7			76,3	64,0	74,0	86,6
6,3	1,6	84,0			70,4	56,0	67,0	80,4
5	0,3	62,6			61,9	48,0	60,0	73,8
4	0,0	42,5			57,0	40,0	54,0	67,8
3,15	0,0	20,2	99,7		52,0	36,0	50,0	60,9
2	0,0	1,7	85,3		40,1	28,0	40,0	47,4
1	0,0	0,0	57,0		25,0	21,5	31,5	31,4
0,500	0,0	0,0	41,2	5,60	17,0	16,0	24,0	22,7
0,315	0,0	0,0	32,8	3,74	13,4	13,0	19,5	18,0
0,200	0,0	0,0	26,2	2,940	10,7	11,0	16,0	14,4
,125	0,0	0,0	20,0	2,677	8,8	8,5	12,5	11,0
0,080	0,0	0,0	13,4		5,7	7,0	10,0	7,4
%	15	30	55					100
MVR	2,940	2,940	2,940					2,940
P				5,60		α		0,901
K				3,74		Σ		12,714
MVR agrégats				2,940		$\Sigma^{-1/5}$		1,6629
MVR enrobés				2,677		Filler total (%)		7,4

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE



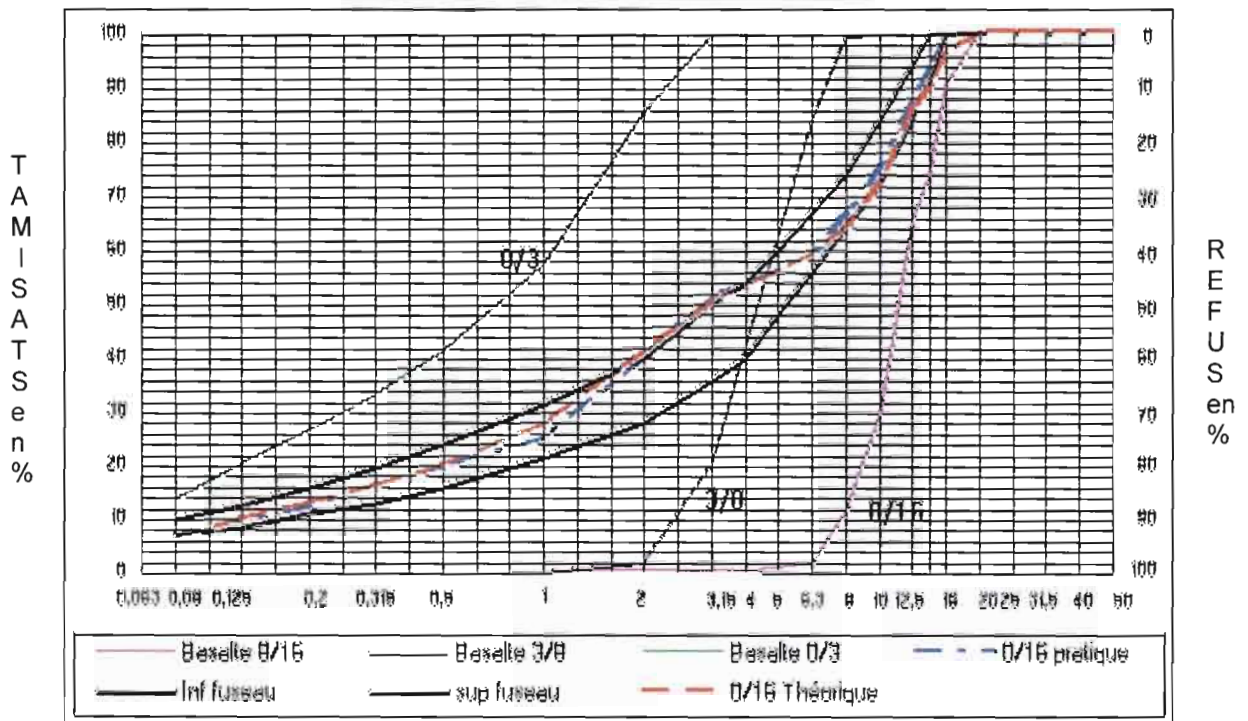
Contribution à la mise en œuvre d'une formulation optimale de béton bitumineux :
Application aux concassés de basalte de Diack

FASS MBAO - BARGNY

Formule : Enrobé 0/16

TAMIS Mm	8/16	3/8	0/3		courbe mélange	Lim.inf. fuseau	Lim.sup. fuseau	courbe mélange
50								100,0
40								100,0
31,5								100,0
25								100,0
20	100,0							100,0
16	90,2				99,0	100,0	100,0	96,1
14	74,0				93,0	91,0	100,0	89,6
12,5	64,7				87,0	84,0	94,0	85,9
10	29,8				75,0	72,0	84,0	71,9
8	11,1	99,7			66,0	64,0	74,0	64,4
6,3	1,6	84,0			59,0	56,0	67,0	58,7
5	0,3	62,6			56,0	48,0	60,0	55,6
4	0,0	42,5			53,5	40,0	54,0	53,1
3,15	0,0	20,2	99,7		51,0	36,0	50,0	50,3
2	0,0	1,7	85,3		40,0	28,0	40,0	41,1
1	0,0	0,0	57,0		25,0	21,5	31,5	27,4
0,500	0,0	0,0	41,2		19,2	16,0	24,0	19,8
0,315	0,0	0,0	32,8		15,8	13,0	19,5	15,7
0,200	0,0	0,0	26,2		12,0	11,0	16,0	12,6
0,125	0,0	0,0	20,0		9,0	8,5	12,5	9,6
0,080	0,0	0,0	13,4		6,5	7,0	10,0	6,4
%	40	12	48					100
MVR	2,940	2,940	2,940					2,940
P			5,50		α			0,901
K			3,78		Σ			10,892
MVR agrégats			2,940		$\Sigma^{-1/5}$			1,6122
MVR enrobés			2,681		Filler total (%)			6,4

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE



L'analyse de ces fiches montre que :

- Pour le tronçon Guéoul – Baralé II , les courbes théorique et pratique du mélange sont presque confondues et s'insèrent dans le fuseau 0/12 avec une légère sortie dans la partie supérieure. Ce qui peut s'expliquer par le fait que ce soit le fuseau 0/12 qui est utilisé et qu'il ait du 8/16 dans le mélange. Mais, vu que le pourcentage de refus du 8/16 au tamis 12.5 est très faible, cette formulation reste dans les limites sécuritaires dans la mesure où les pourcentages de 0/3 et de 3/8 ont été déjà choisis. Néanmoins, le module de richesse du mélange se trouve au-dessus de la valeur supérieure permise pour les bétons bitumineux ($4.27 > 4$). Ceci est en parfaite adéquation avec le ressuage constaté sur le terrain. L'enrobé sur ce tronçon est plus ou moins fermé avec un pourcentage de filler de 6 %.

En somme , cette formulation se comporterait mieux n'eut été le ressuage du à la quantité de bitume un peu élevée (6.17 %).

- Pour le tronçon Touba – Kébémér – Lompul : du tamis 0.08 au tamis 0.5 mm, la courbe pratique du mélange est presque confondue à la limite inférieure du fuseau 0/16. Cela est dû à un manque de filler. Entre les tamis 2 et 8mm, la courbe ne rentre pas dans le fuseau, ce qui traduit des pourcentages de passants élevés. Il n'y a donc pas assez d'éléments grossiers dans le mélange. Une chaussée réalisée avec un tel mélange est plus susceptibles aux dégradations car elle supporte moins les efforts. Le module de richesse respecte les prescriptions techniques ($3 < 3.54 < 4$).

L'amélioration de cette formulation peut se faire par un ajout de filler et une augmentation du pourcentage d' éléments grossiers.

- Pour les tronçons Patte d'Oie – Fass Mbao et Traversée de Bargny, la courbe théorique pratique du mélange présente les mêmes caractéristiques que celles de Touba – Kébémér – Lompul. C'est ce qui explique les problèmes rencontrés sur ces tronçons lors du relevé visuel.
- Pour le tronçon Fass Mbao – Bargny : la courbe pratique du mélange s'insère dans le fuseau mais elle est proche de ses limites. Il y a un léger manque de filler et un chevauchement entre les granulats 3/8 et le 8/16 dû à une mauvaise production en carrière.

D'une manière générale, cette analyse montre que les formulations étudiées rentrent difficilement dans les fuseaux de référence.

Pour tenter de corriger cette anomalie et d'améliorer les performances de ces formulations, nous avons étudié les caractéristiques physiques et mécaniques de ces formulations.

Les formulations utilisées sur les tronçons Touba - Kébémér - Lompul, Patte d'Oie – Fass Mbao et Traversée de Bargny présentant des caractéristiques communes, l'étude expérimentale qui suit se réduit à l'analyse de trois formulations.

Elle porte donc sur la détermination des caractéristiques des mélanges suivants :

- (8/16 : 25% ; 3/8 : 30% ; 0/3 : 45%) ;
- (8/16 : 15% ; 3/8 : 30% ; 0/3 : 55%) ;
- (8/16 : 40% ; 3/8 : 12% ; 0/3 : 48%).

Elle s'articule autour de deux essais classiques de caractérisation que sont:

- l'essai Marshall qui permet de déterminer la stabilité Marshall et le fluage ;
- et l'essai LCPC Duriez qui permet de déterminer la résistance à la compression et la tenue à l'eau des mélanges hydrocarbonés.

Chapitre III :

Etude expérimentale

I. METHODOLOGIE GENERALE

L'étude de formulation en laboratoire s'est déroulée en trois (3) phases :

- 1^{ère} phase : Identification des matériaux constitutifs (granulats, bitume, filler d'apport) ;
- 2^{ème} phase : Essai Marshall complet sur les différentes compositions et choix de la formulation optimale ;
- 3^{ème} phase : Vérification avec la formulation optimale des niveaux de performances obtenues aux essais d'immersion - compression Duriez – LCPC.

II. IDENTIFICATION DES MATERIAUX CONSTITUTIFS

II.1- LES GRANULATS

Cette identification a pour but de vérifier que les granulats proposés sont conformes aux recommandations pour ce qui concerne leur granularité, leur forme, leur propreté...

Les granulats utilisés sont les 0/3, 3/8, et 8/16 prélevés à la carrière de Diack.

L'identification de ces classes granulaires individuelles a porté sur :

- la granulométrie ;
- le poids spécifique ;
- la dureté des éléments ;
- la forme des granulats ;
- la propreté des granulats.

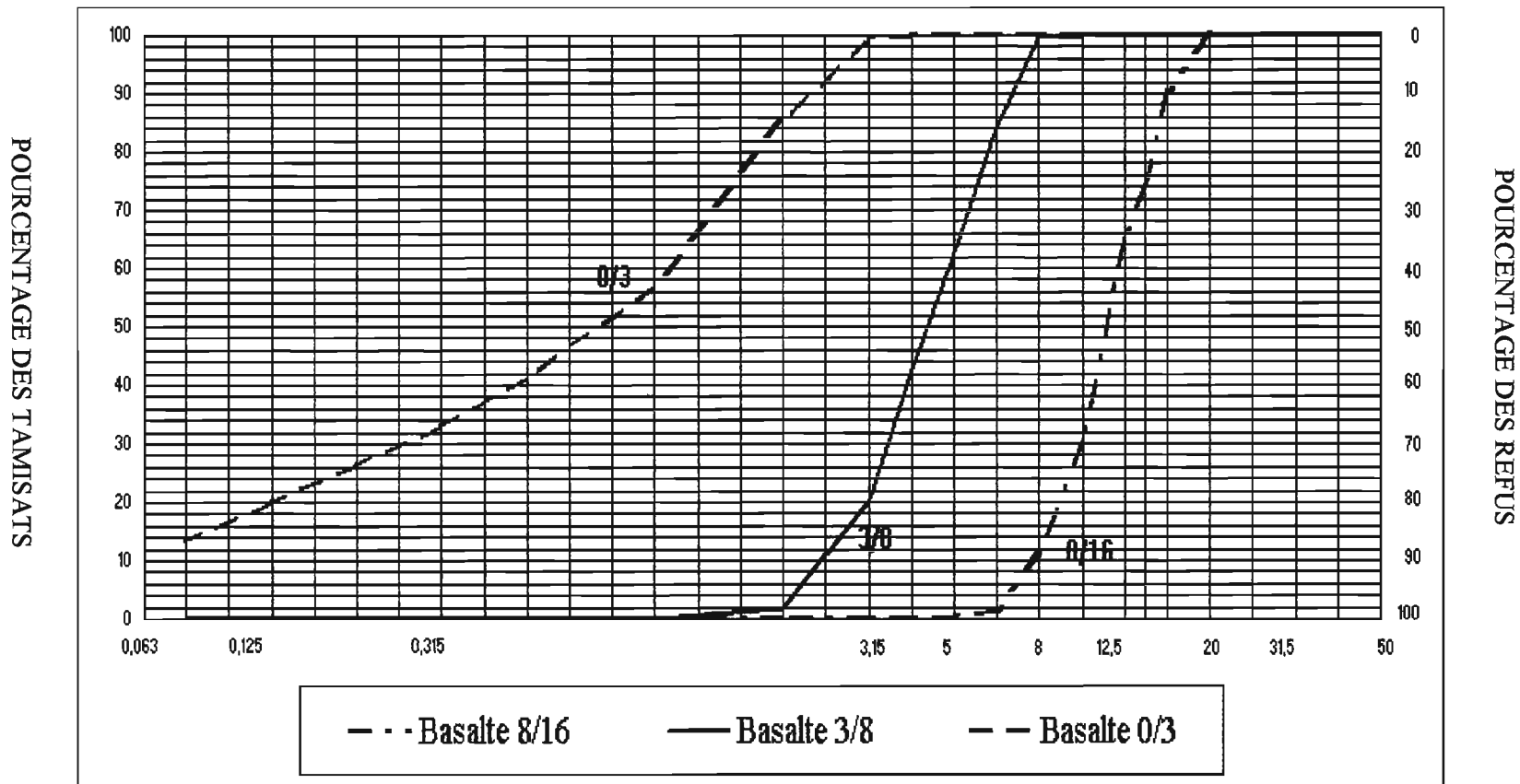
Ces essais dont les fiches sont présentées en annexes 3 donnent les résultats suivants :

Essais	Granulats	0/3	3/8	8/16	Spécifications
Poids spécifique (g/cm ³)		2.956	2.94	2.94	2.92 à 3
Los Angeles		-	16.77	12.21	< 22
Micro- Deval		-	11.58	11.58	≤ 15
Coefficient d'aplatissement (%)		-	25	16	≤ 25
Equivalent Sable ES (%)		86	-	-	≥ 50

Tableau 9: Caractéristiques des granulats utilisés

La conformité aux normes des différentes classes granulaires est vérifiée.

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE



II.2- LE BITUME

CARACTERISTIQUES	Limites à respecter	Méthodes normalisées de référence
Densité relative à 25% (au pycnomètre)	1.00 à 1.10	NFT 66-007
Point de ramollissement bille et anneau (°C)	43 à 56	NFT 66-008
Pénétrabilité à 25°C, 100g, 5s (1/10 mm)	60 à 70	NFT 66-004
Ductilité à 25°C (cm)	≥ 80	NFT 66-066
Point éclair (vase ouvert – appareil Cleveland) en °C	≥ 230	NFT 66-118
Solubilité dans le tétrachloroéthylène (C ₂ Cl ₄) en %	≥ 99.5	NFT 66-012
Perte de masse au chauffage (163°C pendant 5 heures) en %	< 1	NFT 66-011
Pourcentage de pénétrabilité restante après perte de masse au chauffage par rapport à la pénétrabilité initiale (%)	≥ 70	NFT 66-004
UTILISATIONS	Fabrication d'enrobés à chaud pour : <ul style="list-style-type: none"> ▪ construction routes neuves en micro béton, en béton bitumineux et en sand – asphalt ; ▪ routes à grande circulation et autoroutes ; ▪ renforcement de chaussées ; ▪ routes à lourd trafic ; ▪ fabrication d'émulsions de bitumes. 	

Tableau 10 : Caractéristiques du bitume 60/70 (Source : Société Multinationale de Bitumes, Abidjan / RCI)

II.3- LE FILLER

Le filler utilisé est de 2 types :

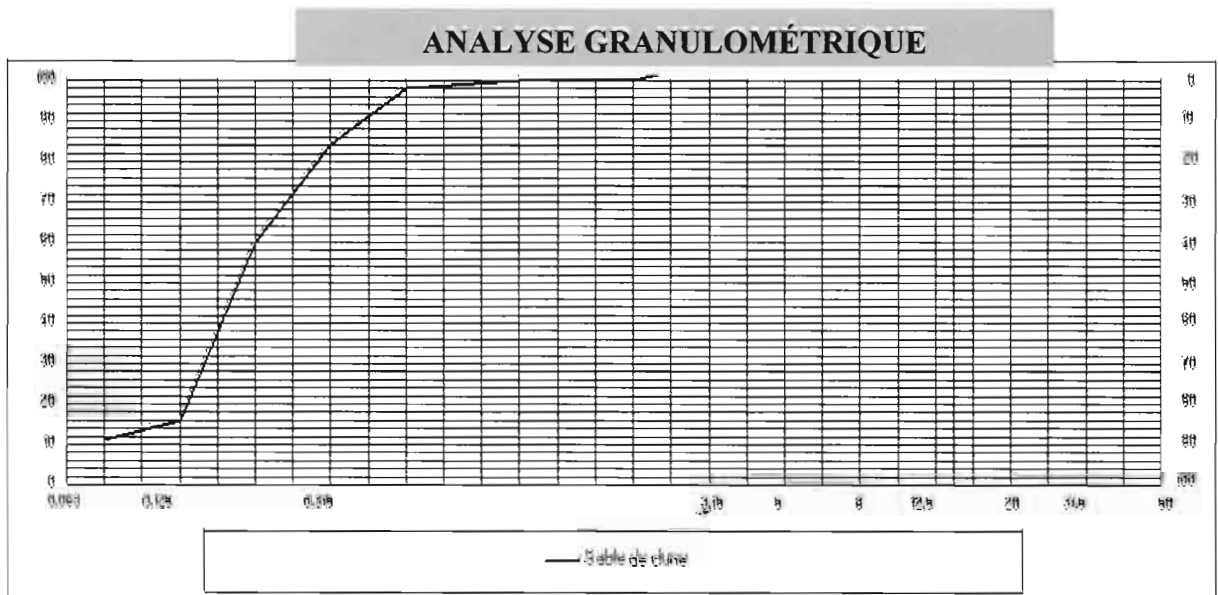
- le sable de correction granulométrique ;
- le ciment CEM II.

Le sable a été identifié par sa granulométrie (passant au tamis 0.02 mm), son poids spécifique et son équivalent de sable.

Essais

Poids spécifique (g/cm^3) : 2.65

Equivalent Sable ES (%) : 38



III. ETUDE MARSHALL

III.1- BUT DE L'ESSAI

Cette étude a pour but :

- de faire ressortir la variation des performances (stabilité, compacité) de mélanges réalisés avec le granulat et différentes proportions de bitume ;
- de déterminer le fluage Marshall ;
- de choisir la formulation optimale ;
- de servir de base à la détermination des plages de variation à l'intérieur desquelles il est important de se situer au moment de la fabrication et du contrôle.

L'essai Marshall est applicable à tous les enrobés à chaud ne comportant pas de granulats de dimension supérieure à 20 mm.

La stabilité Marshall est la valeur de la charge maximale obtenue par un essai de compression exercée suivant une génératrice d'une éprouvette semi – traitée et préalablement compactée.

Le fluage Marshall est l'affaissement de cette même éprouvette au moment de la rupture par compression.

III.2- PREPARATION DU MELANGE ET CONFECTION DES EPROUVETTES D'ESSAI

Dans un récipient métallique pouvant contenir environ 2000 cm³, la quantité de bitume et 1200 g de gâchée reconstituée à partir de 3 classes granulaires dont les pourcentages varient en fonction de l'enrobé désiré sont versés. Pour une composition donnée du granulat, l'étude a porté sur 3 teneurs en bitume différentes. Pour chaque teneur donnée, 5 éprouvettes ont été confectionnées (3 pour la stabilité et le fluage ; 2 pour la densité apparente du mélange par pesée hydrostatique) .

Le mélange est porté à 140°C avant d'être versé dans le moule Marshall puis compacté à raison de 50 coups de marteau de la dame sur chacune des deux faces de l'éprouvette ; un disque de papier filtre est placé sur la surface de l'enrobé avant compactage.

La durée de compactage (damage et manutention) ne doit pas excéder 3 minutes, afin d'éviter tout risque de refroidissement.

Le moule est ensuite placé pendant 15 minutes sous un jet d'eau froide, maintenu de telle façon que l'enrobé ne soit pas mouillé.

Après 5 heures à température ambiante, l'éprouvette est démoulée en exerçant une légère pression sur le piston extracteur placé au contact de l'enrobé avant d'être immergée dans un bain hydrostatique réglé à 60°C pendant 30 minutes.

Enfin, l'éprouvette est placée dans l'appareil Marshall constitué de deux mâchoires s'appuyant sur deux génératrices opposées d'une presse pouvant développer un effort de 2 tonnes pendant l'écrasement diamétral à la vitesse de 0.846 mm/s.

III.3- PRESENTATION DES RESULTATS

Pour chaque composition nous avons déterminé :

- la densité apparente ;
- la stabilité à 60°C ;
- le fluage ;
- la compacité ;
- le pourcentage de vides remplis par le bitume.

Les résultats des essais sont reportés dans les tableaux ci-dessous et illustrés graphiquement en annexe 3 :

Composition (%)	8/16 : 25	8/16 : 25	8/16 : 25
	3/8 : 30	3/8 : 30	3/8 : 30
	0/3 : 45	0/3 : 45	0/3 : 45
	Bitume : 3.5	Bitume : 4.5	Bitume : 5.5
Densité apparente	2.447	2.484	2.468
Stabilité à 60°C (daN)	1717	1740	1833
Compacité (%)	88.6	91.2	92.1
% de vide	11.6	8.8	7.9
Fluage (mm)	2.2	2.7	3

Tableau 11 : Résultats des essais Marshall (8/16 : 25% ; 3/8 : 30% ; 0/3 : 45%)

A L'OPTIMUM	Données	Expérimentales	CPTP
	Module de richesse (m)	3.26	3 <k< 4
	%Filler	6	5 <%< 9
	% Bitume	4,7	voisin de 5
	Compacité Marshall (%)	91,4	92 < C < 96
	Stabilité Marshall (daN)	1750	S>1000
	Fluage (mm)	2,75	F<4

Tableau 12 :Tableau comparatif : valeurs expérimentales et valeurs CPTP
(8/16 : 25% ; 3/8 : 30% ; 0/3 : 45%)

Contribution à la mise en œuvre d'une formulation optimale de béton bitumineux :
Application aux concassés de basalte de Diack

Composition (%)	8/16 : 15	8/16 : 15	8/16 : 15
	3/8 : 30	3/8 : 30	3/8 : 30
	0/3 : 55	0/3 : 55	0/3 : 55
	Bitume : 3	Bitume : 4	Bitume : 5
Densité apparente	2.395	2.452	2.443
Stabilité à 60°C (daN)	1490	1557	1703
Compacité (%)	85.7	89.3	90.4
% de vide	14.3	10.7	9.6
Fluage (mm)	2.3	2.7	2.3

Tableau 13 : Résultats des essais Marshall (8/16 : 15% ; 3/8 : 30% ; 0/3 : 55%)

A L'OPTIMUM	Données	Expérimentales	CPTP
	Module de richesse (m)	3,22	3 <k< 4
	% Filler	7,4	5 <% < 9
	% Bitume	4,8	voisin de 5
	Compacité Marshall (%)	91,2	92 < C < 96
	Stabilité Marshall (daN)	1675	S>1000
	Fluage (mm)	2,93	F<4

Tableau 14 : Tableau comparatif : valeurs expérimentales et valeurs CPTP
(8/16 : 15% ; 3/8 : 30% ; 0/3 : 55%)

Composition (%)	8/16 : 40	8/16 : 40	8/16 : 40
	3/8 : 12	3/8 : 12	3/8 : 12
	0/3 : 48	0/3 : 48	0/3 : 48
	Bitume : 3	Bitume : 4	Bitume : 5
Densité apparente	2.456	2.485	2.466
Stabilité à 60°C (daN)	1677	1720	1628
Compacité (%)	87.9	90.4	91.2
% de vide	12.1	9.6	8.8
Fluage (mm)	2.3	2.8	3

Tableau 15 : Résultats des essais Marshall (8/16 : 40% ; 3/8 : 12% ; 0/3 : 48%)

A L'OPTIMUM	Données	Expérimentales	CPTP
	Module de richesse (m)	3.23	3 <k< 4
	% Filler	6.4	5 < % < 9
	% Bitume	4,6	voisin de 5
	Compacité Marshall (%)	91	92 < C < 96
	Stabilité Marshall (daN)	1675	S>1000
	Fluage (mm)	2.75	F<4

Tableau 16 : Tableau comparatif : valeurs expérimentales et valeurs CPTP
(8/16 : 40% ; 3/8 : 12% ; 0/3 : 48%)

Ces résultats permettent de choisir la formulation optimale qui satisfait le mieux aux performances recommandées.

Composition granulats	8/16 : 25%	8/16 : 15%	8/16 : 40%	CPTP
	3/8 : 30%	3/8 : 30%	3/8 : 12%	
	0/3 : 45%	0/3 : 55%	0/3 : 48%	
Module de richesse (m)	3.26	3,22	3.23	3 <k< 4
% Filler	6	7,4	6.4	5 < % < 9
% Bitume	4,7	4,8	4,6	voisin de 5
Compacité Marshall (%)	91,4	91.2	91	92 < C < 96
Stabilité Marshall (daN)	1750	1675	1675	S >1000
Fluage (mm)	2,75	2,93	2.75	F<4

Tableau 17 : Tableau comparatif des résultats des essais Marshall

III.4- CHOIX DE LA FORMULATION OPTIMALE

La formulation retenue est :

- granulats $\left\{ \begin{array}{l} 8/16 : 25\% \\ 3/8 : 30\% \\ 0/3 : 45\% \end{array} \right.$
- bitume : 4.7%

En effet :

- sa courbe granulométrique (voir page 29) s'insère parfaitement dans le fuseau de référence ;
- sa compacité (91.4) ne vérifie pas la plage de compacité spécifique (92 < C < 96) mais elle est la meilleure parmi les trois ;

- elle présente moins de fluage et une plus grande stabilité ;
- sur le plan économique, elle est plus avantageuse car elle demande moins de filler.

IV. VERIFICATION AVEC LA FORMULATION OPTIMALE

IV.1- ESSAIS D'IMMERSION – COMPRESSEION LCPC - DURIEZ

Nous avons effectué l'essai Duriez sur la formulation choisie précédemment afin de vérifier ses performances:

- granulats $\left\{ \begin{array}{l} 8/16 : 25\% \\ 3/8 : 30\% \\ 0/3 : 45\% \end{array} \right.$
- bitume : 4.7%

IV.1.1- But de l'essai

La réalisation d'essais d'immersion – compression Duriez vise comme objectif de caractériser les qualités de résistance mécanique (statique) et de résistance au désenrobage par l'eau des matériaux enrobés et de fournir d'autres repères de résistance. L'essai Duriez est appliqué essentiellement aux matériaux denses ou semi-denses enrobés avec du bitume, dont les agrégats passent en totalité au tamis 20 mm.

IV.1.2- Préparation du mélange et confection des éprouvettes d'essai

Dans le cas de l'essai LCPC Duriez le poids de granulats considéré est de 1000 g. Les granulats et le bitume sont mis dans un récipient métallique et placés au chauffage à 140°C. Puis, les éprouvettes sont confectionnées dans des moules cylindriques de 80 mm de diamètre intérieur et 150 mm de hauteur.

Le compactage est fait à la presse CBR. La pression est appliquée progressivement jusqu'à atteindre au bout d'une minute de 120 kg/cm² sur la base de l'éprouvette. Elle est maintenue pendant 5 minutes puis relâchée lentement. L'éprouvette est refroidie suffisamment pour que le démoulage puisse se faire sans déformation.

7 éprouvettes sont réalisées :

- 1 pour la densité apparente du mélange par pesée hydrostatique ;
- 2 pour la résistance à la compression à 18°C ;
- 1 pour le pourcentage d'affaissement ;
- 3 pour le pourcentage d'imbibition.

Enfin, l'écrasement des éprouvettes est fait à l'aide d'une presse à la vitesse de 1mm/s et, à l'instant où se produit la rupture, le sens d'avancement est inversé. Un index mort, entraîné par une aiguille du manomètre de la presse permet de repérer la valeur maximale de la charge appliquée, c'est-à-dire la valeur cherchée de la résistance à la compression. En divisant cette valeur par 50, nous obtenons la résistance à la compression appelée stabilité Duriez.

IV.1.3- Présentation des résultats

Pour chaque composition nous avons déterminé :

- la densité apparente du matériau enrobé ;
- la résistance à la compression à 18°C :
 - 8 jours après confection de l'éprouvette ;
 - 8 jours après confection de l'éprouvette et 7 jours d'immersion dans l'eau ;
- le pourcentage d'affaissement : c'est 100 fois la diminution relative de la hauteur de l'éprouvette provoquée par la charge d'écrasement ;
- le pourcentage d'imbibition : c'est 100 fois l'augmentation relative de poids de l'éprouvette au moment de la mesure :
 - après 1 heure sous vide et 2 heures dans l'eau;
 - après 2 jours d'immersion dans l'eau ;
 - après 7 jours d'immersion dans l'eau.

Les principaux résultats de cet essai sont consignés dans les tableaux suivants. Les fiches sont données en annexe 5:

Composition (%)		Basalte 8/16 : 25 Basalte 3/8 : 30 Basalte 0/3 : 45 Bitume : 4.7			
DENSITE MELANGE		2.769			
ESSAI DURIEZ	24 heures à 18°C	Stabilité (kg)	2917	Rc (Mpa)	5.8
	7 jours à l'air à 18°C		3050		6.1
	7 jours immersion à 18°C		2233		4.4
	Rapport immersion / compression		0.73		
	Densité apparente		2.451		
	Compacité (%)		88.5		

Tableau 18 : Résultats des essais LCPC Duriez
(8/16 : 25% ; 3/8 : 30% ; 0/3 : 45%, bitume : 4.7 %)

Ces résultats montrent que la formulation optimale retenue a une bonne stabilité. Les valeurs de stabilité trouvées sont toutes nettement supérieures à la valeur spécifique :

- stabilité après 24 heures à 18°C : 2917 kg > 1000 kg ;
- stabilité après 7 jours à l'air à 18°C : 3050 kg > 1000 kg ;
- stabilité après 7 jours immersion à 18°C: 2233 kg > 1000 kg.

Cependant, la compacité et le rapport immersion / compression sont faibles :

- compacité : 88.5 % < 92 % ;
- rapport immersion / compression : 0.73 < 0.75

(voir tableau 1 pour les spécifications)

Cela traduit un pourcentage de vide élevé. Un tel enrobé est poreux et résiste mal au désenrobage.

Ce phénomène se manifeste sur le terrain par un enrobé ouvert donnant une chaussée susceptible aux dégradations en général et aux arrachements en particulier.

Pour tenter de remédier à ces problèmes, nous avons effectué les essais Marshall et Duriez sur la formulation optimale améliorée au sable et au ciment.

IV.2- AMELIORATION PAR AJOUT DE FILLER

L'ajout d'un filler d'apport s'est avéré nécessaire car la formulation précédente n'a pas une bonne compacité malgré les 6% de filler contenu dans le 0/3. Pour cela, nous avons testé deux fillers d'apport : le sable de correction granulométrique et le ciment CEMII.

L'étude expérimentale s'est déroulée comme suit :

➤ dans un premier temps, nous avons remplacé 5% de 0/3 du mélange optimal par le sable ; soit la formulation : 8/16 : 25%, 3/8 : 30%, 0/3 : 40%, sable de correction granulométrique : 5%, bitume : 4,7%;

➤ dans un second temps, nous avons remplacé 3% du 0/3 par le ciment (car il est plus fin que le sable) ; soit la formulation : 8/16 : 25%, 3/8 : 25%, 0/3 : 42%, ciment CEM II : 3%, bitume : 4,7%.

Les échantillons soumis aux essais Marshall et LCPC Duriez, selon le mode opératoire classique, donnent les résultats présentés dans les tableaux suivants :

Contribution à la mise en œuvre d'une formulation optimale de béton bitumineux :
Application aux concassés de basalte de Diack

Composition (%)		Basalte 8/16 : 25 Basalte 3/8 : 30 Basalte 0/3 : 40 Sable : 5 Bitume : 4.7			
DENSITE MELANGE		2.699			
ESSAI DURIEZ	24 heures à 18°C		2950	Rc (Mpa)	5.9
	7 jours à l'air à 18°C	Stabilité (kg)	3107		6.2
	7 jours immersion à 18°C		2387		4.8
	Rapport immersion / compression	0.77			
	Densité apparente	2.481			
	Compacité (%)	91.9			
ESSAI MAESHALL	Stabilité (kg)	1802			
	Fluage (1/10 mm)	2.2			
	Densité apparente	2.501			
	Compacité (%)	92.7			

Tableau 19 : Résultats des essais Marshall et LCPC Duriez
(8/16 : 25% ; 3/8 : 30% ; 0/3 : 40%, sable de dune : 5 %, bitume : 4.7 %)

Contribution à la mise en œuvre d'une formulation optimale de béton bitumineux :
Application aux concassés de basalte de Diack

Composition (%)		Basalte 8/16 : 25 Basalte 3/8 : 30 Basalte 0/3 : 42 Ciment : 3 Bitume : 4.7			
DENSITE MELANGE		2.718			
ESSAI DURIEZ	24 heures à 18°C	Stabilité (kg)	3083	Rc (Mpa)	6.1
	7 jours à l'air à 18°C		3180		6.3
	7 jours immersion à 18°C		2540		5.1
	Rapport immersion / compression	0.8			
	Densité apparente	2.514			
	Compacité (%)	92.5			
ESSAI MAESHALL	Stabilité (kg)	1763			
	Fluage (1/10 mm)	2.5			
	Densité apparente	2.526			
	Compacité (%)	92.9			

Tableau 20 : Résultats des essais Marshall et LCPC Duriez
(8/16 : 25% ; 3/8 : 30% ; 0/3 : 42%, ciment : 3 %, bitume : 4.7 %)

Ces résultats montrent une augmentation de la compacité. En effet, elle est passée de 88.5 % à 92.7% par ajout de sable et de 88.5% à 92.9% par ajout de ciment.

Aucune grande différence n'a été constatée entre la compacité obtenue par ajout de sable (92.7%) et celle obtenue par ajout de ciment (92.9%). Vu le coût plus élevé du ciment, il est préférable d'utiliser le sable.

Cependant, l'utilisation du ciment s'avère plus intéressante que celle du sable dans les régions particulièrement humides car il contient des éléments pouzzolaniques qui réagissent par hydratation.

V/ PRESENTATION DES RESULTATS

Bien que le choix définitif de la formulation à adopter, pour un chantier donné, doive s'appuyer sur une étude préalable en laboratoire, nous proposons, au tableau 21, des indications basées sur ce qui précède. Sont indiquées d'une part, l'enveloppe des valeurs, à l'intérieur desquelles les résultats trouvés ont été satisfaisants (ce qui peut permettre d'orienter les études en laboratoire pour les chantiers futurs) et d'autre part, la formulation type moyenne dont on essayera de se rapprocher le plus possible ou dont on pourra s'inspirer en cas d'urgence ou d'impossibilité matérielle de réaliser des études en laboratoire.

Contribution à la mise en œuvre d'une formulation optimale de béton bitumineux :
Application aux concassés de basalte de Diack

	<i>Compositions enveloppes</i>	<i>Formulation type moyenne</i>
1. Granulats		
Proportion de 8/16	20 – 30 %	25 %
Proportion de 3/8	30 – 35 %	30 %
Proportion de 0/3	40 – 50 %	42 %
Filler d'apport	2 – 5%	3%
Surface spécifique (m ² /kg)	8.7 – 14.7	10.54
Equivalent de Sable	> 60	> 60
Dureté Los Angeles	< 25	< 25
2. Bitume : dureté	60/70	60/70
3. Mélange		
Module de richesse	3 - 4	3.3
Teneur en bitume (%)	4 - 5	4.7
4. Performances anticipables		
• <i>Marshall</i>		
Stabilité à 60°C (kg)	1000 –1800	1675
Fluage (mm)	< 4	2.75
Densité apparente	2.25 – 2.55	2.5
Compacité (%)	90 - 95	93
• <i>Duriez</i>		
R _C Duriez à 18°C (Mpa)	> 6	6.3
Rapport R' _c / R _C	> 0.75	0.8
Densité apparente	2.25 – 2.50	2.5
Compacité (%)	90 - 95	92.5

Tableau 21 : Formulations types pour bétons bitumineux

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Cette étude a permis de diagnostiquer et de répertorier les dégradations qui affectent les revêtements des chaussées en béton bitumineux, d'étudier le comportement des formulations généralement utilisées au Sénégal et de proposer une formulation type de béton bitumineux.

Les différentes formulations étudiées ont été soumises aux essais Marshall et LCPC Duriez qui ont permis de suivre l'évolution des principales caractéristiques des matériaux qui les composent. A partir de cette étude expérimentale, nous avons proposé une formulation optimale de béton bitumineux.

Certaines caractéristiques de cette formulation se sont avérées satisfaisantes avec une bonne stabilité et un fluage moindre. En revanche d'autres telle que la compacité n'ont pas répondu aux spécifications. Pour remédier à cela, nous avons utilisé le sable et le ciment CMII comme filler d'apport.

Cependant, l'expérience acquise par le suivi de ce projet ne nous permet pas de proposer des spécifications à inclure dans un Cahier des Clauses Techniques vu le nombre réduit d'essais effectués.

Toutefois, nous souhaitons apporter une pierre à l'édifice en donnant quelques suggestions :

- l'usage de matériaux certifiés devrait être imposé. Ce qui contribuerait à garantir la constance des caractéristiques de ces produits et faciliter leur contrôle ;
- le choix du bitume et des granulats ne devrait pas se faire de façon routinière mais en tenant compte des conditions climatiques et des performances des matériaux. En effet, la viscosité du liant contribue à la bonne tenue dans le temps d'un enduit superficiel. De ce fait, l'utilisation du bitume 40/50, à la place du 60/70 généralement utilisé au Sénégal, pourrait résoudre les problèmes de ressuage et de fluage observés sur certains tronçons lors du relevé visuel. L'utilisation d'autres matériaux tels que le grès pourrait aussi être envisagée ;
- le choix d'un enrobé, dense ou ouvert, devrait influencer la conception même du revêtement. Un enrobé ouvert devrait être associé à la pose d'une couche d'imperméabilisation ;

- la mise en œuvre des enrobés devrait faire l'objet d'un suivi et d'un contrôle stricts en vue du respect des performances prescrites par les cahiers des charges ;
- l'exigence de l'essai à la presse au cisaillement giratoire PCG et de l'essai à l'orniéreur devrait permettre d'avoir une idée de la compatibilité des enrobés sur chantier et de mesurer la profondeur d'ornière.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

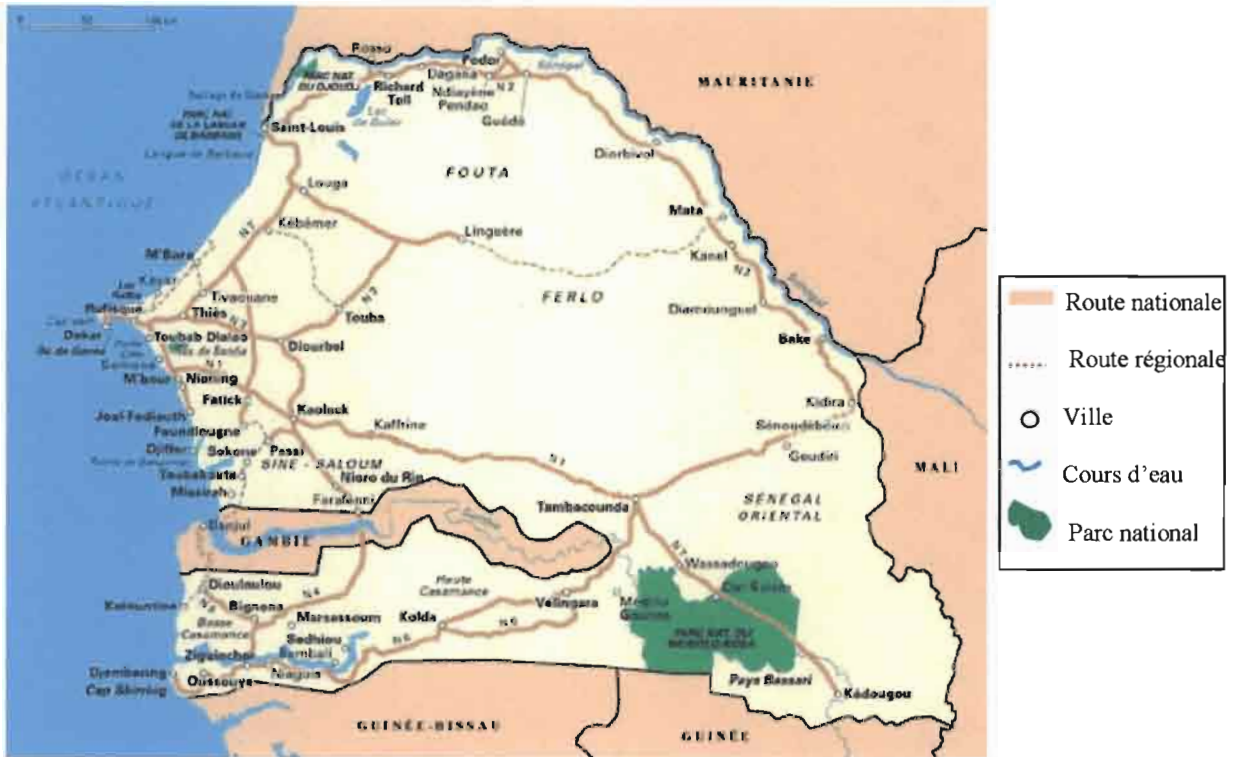
- [1] Jean-George MALLOUK, Ing., Les enrobés bitumineux. Tome I, Modulo Editeur, 1982, 181 p.
- [2] M. SIFFERT et F. FONTENEAU, Catalogue des dégradations des chaussées. 2^{ème} édition, SETRA LCPC, février 1972, 125 p.
- [3] M. DURIEZ et J. ARRAMBIDE, Nouveaux traités de matériaux de construction. Tome III : Liants et bétons hydrocarbonés, 2^{ème} édition, DUNOD, Paris 1962, 1530 p.
- [4] Laboratoire du Bâtiment et des Travaux Publics (République de Côte d'Ivoire), Recommandation pour le choix, l'étude et la réalisation des couches bitumineuses de surface : sand-asphalt, enrobés denses, bétons bitumineux. 3^{ème} partie : Les bétons bitumineux, édition provisoire, mai 1972, 31 p.
- [5] Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, VIZIR : méthode assistée par ordinateur pour l'estimation des besoins en entretien d'un réseau routier. Décembre 1991, 78 p.
- [6] Centre de formation et de perfectionnement, Essais sur les liants hydrocarbonés. Ministère de l'Equipement et des Transports Terrestres, 30p.
- [7] Mamadou FAYE, Enrobés denses et bétons bitumineux au Sénégal : analyse de données et expérimentations sur de nouveaux matériaux de substitution. Performances et intérêts économiques. Mémoire de Fin d'Etudes d'ingénieur IST-UCAD, novembre 1998, 97 p.
- [8] Assane NDIAYE et Léger Malé SARR, Etude de la pathologie routière au Sénégal. Projet de Fin d'Etudes en vue de l'ostension du diplôme d'ingénieur de conception ESP Thiès, juillet 2000, 58 p.
- [9] Bakary BA, Etude de l'utilisation du sand-asphalt comme couche de revêtement : application au chantier Tamba-Kidira-Bakel. Projet de Fin d'Etudes en vue de l'ostension du diplôme d'ingénieur de conception ESP Thiès, juin 1998, 51 p.



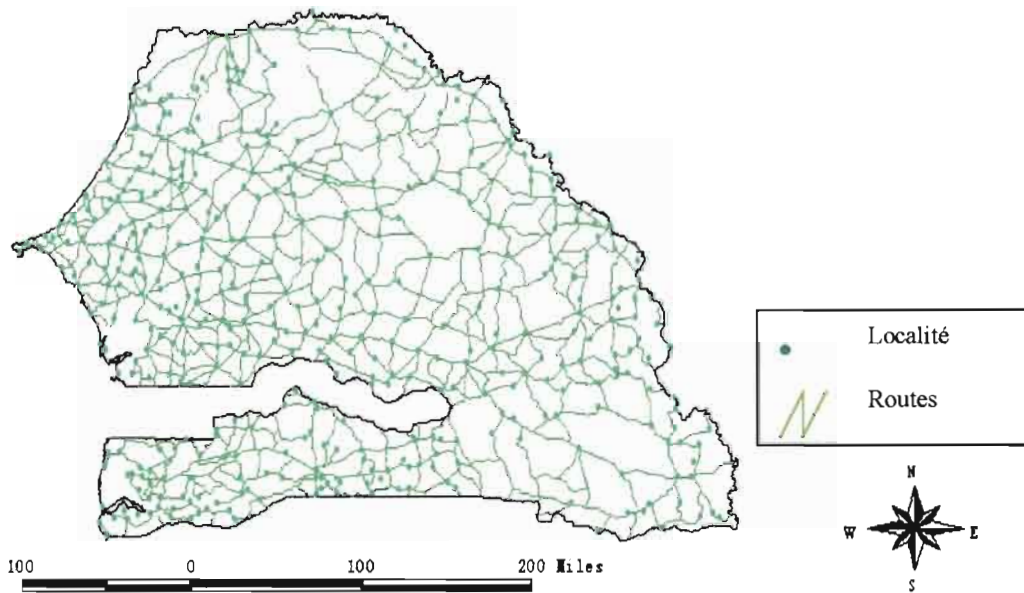
ANNEXES

ANNEXE 1

- Carte administrative du Sénégal
- Réseau routier du Sénégal



Carte administrative du SENEGAL



Réseau routier du SENEGAL

ANNEXE 2

Photos de dégradation



Photo 1
Déformation



Photo 2
Réparation



Photo 3
Arrachement



Photo 4
Déformation et
faièçage



Photo 5
Faièçage



Photo 6
Epaufures et déficit
d'accotement

ANNEXE 3

Fiches des essais sur les granulats

- Analyse granulométrique
- Coefficient d'aplatissement
- Poids spécifique
- Los Angeles
- Micro Deval

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

PFE

Lieu de prélèvement : DIACK

Date de prélèvement : 10/06/03.....

Date de l'essai : 11/06/03.....

Nature du matériau : Basalte 8/16.....

Poids initial de l'échantillon: 4004 g

Module AFNOR	Dimension Maille carré	Poids des refus		Pourcentage	
		Séparément	Total	Refus	Passant
50	80.000				
49	63.000				
48	50.000				
47	40.000				
46	31.500				
45	25.000				
44	20.000				
43	16.000	392,4	392,4	9,8	90,2
42	12.500	648,6	1041	26,0	74,0
41	10.000	1769,8	2810,8	70,2	29,8
40	8.000	748,7	3559,5	88,9	11,1
39	6.300	380,4	3939,9	98,4	1,6
38	5.000	52,1	3992	99,7	0,3
37	4.000				
36	3.150				
35	2.500				
34	2.000				
33	1.600				
32	1.250				
31	1.000				
30	0.800				
29	0.630				
28	0.500				
27	0.400				
26	0.315				
25	0.250				
24	0.200				
23	0.160				
22	0.125				
21	0.100				
20	0.080				

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

PFE

Lieu de prélèvement : DIACK

Date de prélèvement : 10/06/03

Date de l'essai : 11/06/03

Nature du matériau : Basalte 3/8

Poids initial de l'échantillon: 3000 g

Module AFNOR	Dimension Maille carré	Poids des refus		Pourcentage	
		Séparément	Total	Refus	Passant
50	80.000				
49	63.000				
48	50.000				
47	40.000				
46	31.500				
45	25.000				
44	20.000				
43	16.000				
42	12.500				
41	10.000				
40	8.000	10	10	0,3	99,7
39	6.300	470	480	16,0	84,0
38	5.000	642	1122	37,4	62,6
37	4.000	603	1725	57,5	42,5
36	3.150	670	2395	79,8	20,2
35	2.500	555	2950	98,3	1,7
34	2.000				
33	1.600				
32	1.250				
31	1.000				
30	0.800				
29	0.630				
28	0.500				
27	0.400				
26	0.315				
25	0.250				
24	0.200				
23	0.160				
22	0.125				
21	0.100				
20	0.080				

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

PFE

Lieu de prélèvement : DIACK

Date de prélèvement : 10/06/03

Date de l'essai : 11/06/03

Nature du matériau : Basalte 0/3

Poids initial de l'échantillon : 2000 g

Module AFNOR	Dimension Maille carré	Poids des refus		Pourcentage	
		Séparément	Total	Refus	Passant
50	80.000				
49	63.000				
48	50.000				
47	40.000				
46	31.500				
45	25.000				
44	20.000				
43	16.000				
42	12.500				
41	10.000				
40	8.000				
39	6.300				
38	5.000				
37	4.000				
36	3.150	7	7	0,4	99,7
35	2.500				
34	2.000	288	295	14,8	85,3
33	1.600				
32	1.250				
31	1.000	565	860	43,0	57,0
30	0.800				
29	0.630				
28	0.500	317	1177	58,9	41,2
27	0.400				
26	0.315	167	1344	67,2	32,8
25	0.250				
24	0.200	133	1477	73,9	26,2
23	0.160				
22	0.125	123	1600	80,0	20,0
21	0.100				
20	0.080	133	1733	86,7	13,4

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

PFE

Lieu de prélèvement : DIACK

Date de prélèvement : 10/06/03

Date de l'essai : 11/06/03

Nature des matériaux : mélange de basalte (25% de 8/16, 30% de 3/8 et 45% de 0/3)

Poids initial de l'échantillon : 5000 g

Module AFNOR	Dimension Maille carré	Poids des refus		Pourcentage	
		Séparément	Total	Refus	Passant
50	80.000				
49	63.000				
48	50.000				
47	40.000				
46	31.500				
45	25.000				
44	20.000				
43	16.000	230	230	4,6	95,4
42	12.500	245	475	9,5	90,5
41	10.000	370	845	16,9	83,1
40	8.000	340	1185	23,7	76,3
39	6.300	295	1480	29,6	70,4
38	5.000	425	1905	38,1	61,9
37	4.000	245	2150	43	57,0
36	3.150	250	2400	48	52,0
35	2.500				
34	2.000	595	2995	59,9	40,1
33	1.600				
32	1.250				
31	1.000	755	3750	75	25,0
30	0.800				
29	0.630				
28	0.500	400	4150	83	17,0
27	0.400				
26	0.315	180	4330	86,6	13,4
25	0.250				
24	0.200	135	4465	89,3	10,7
23	0.160				
22	0.125	95	4560	91,2	8,8
21	0.100				
20	0.080	155	4715	94,3	5,7

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

PFE

Lieu de prélèvement : DIACK

Date de prélèvement : 10/06/03

Date de l'essai : 11/06/03

Nature des matériaux : mélange de basalte (15% de 8/16, 30% de 3/8 et 55% de 0/3)

Poids initial de l'échantillon: 5000 g

Module AFNOR	Dimension Maille carré	Poids des refus		Pourcentage	
		Séparément	Total	Refus	Passant
50	80.000				
49	63.000				
48	50.000				
47	40.000				
46	31.500				
45	25.000				
44	20.000				
43	16.000	230	230	4,6	95,4
42	12.500	245	475	9,5	90,5
41	10.000	370	845	16,9	83,1
40	8.000	340	1185	23,7	76,3
39	6.300	295	1480	29,6	70,4
38	5.000	425	1905	38,1	61,9
37	4.000	245	2150	43	57
36	3.150	250	2400	48	52
35	2.500				
34	2.000	595	2995	59,9	40,1
33	1.600				
32	1.250				
31	1.000	755	3750	75	25,0
30	0.800				
29	0.630				
28	0.500	400	4150	83	17,0
27	0.400				
26	0.315	180	4330	86,6	13,4
25	0.250				
24	0.200	135	4465	89,3	10,7
23	0.160				
22	0.125	95	4560	91,2	8,8
21	0.100				
20	0.080	155	4715	94,3	5,7

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

PFE

Lieu de prélèvement : DIACK

Date de prélèvement : 10/06/03

Date de l'essai : 11/06/03

Nature des matériaux : mélange de basalte (20% de 8/16, 30% de 3/8 et 50% de 0/3)

Poids initial de l'échantillon: 5000 g

Module AFNOR	Dimension Maille carré	Poids des refus		Pourcentage	
		Séparément	Total	Refus	Passant
50	80.000				
49	63.000				
48	50.000				
47	40.000				
46	31.500				
45	25.000				
44	20.000				
43	16.000	230	250	5	95
42	12.500	245	475	9,5	90,5
41	10.000	370	845	16,9	83,1
40	8.000	360	1205	24,1	75,9
39	6.300	345	1550	31	69
38	5.000	350	1900	38	62
37	4.000	300	2200	44	56
36	3.150	300	2500	50	50
35	2.500				
34	2.000	500	3000	60	40
33	1.600				
32	1.250				
31	1.000	800	3800	76	24
30	0.800				
29	0.630				
28	0.500	400	4200	84	16
27	0.400				
26	0.315	150	4350	87	13
25	0.250				
24	0.200	125	4475	89,5	10,5
23	0.160				
22	0.125	100	4575	91,5	8,5
21	0.100				
20	0.080	175	4750	95	5

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

PFE

Lieu de prélèvement : DIACK

Date de prélèvement : 10/06/03

Date de l'essai : 11/06/03

Nature des matériaux : mélange de basalte (48% de 8/16, 12% de 3/8 et 40% de 0/3)

Poids initial de l'échantillon: 5000 g

Module AFNOR	Dimension Maille carré	Poids des refus		Pourcentage	
		Séparément	Total	Refus	Passant
50	80.000				
49	63.000				
48	50.000				
47	40.000				
46	31.500				
45	25.000				
44	20.000				
43	16.000	230	50	1	99
42	12.500	420	650	13	87
41	10.000	600	1250	25	75
40	8.000	450	1700	34	66
39	6.300	350	2050	41	59
38	5.000	150	2200	44	56
37	4.000	125	2325	46,5	53,5
36	3.150	125	2450	49	51
35	2.500				
34	2.000	550	3000	60	40
33	1.600				
32	1.250				
31	1.000	750	3750	75	25
30	0.800				
29	0.630				
28	0.500	290	4040	80,8	19,2
27	0.400				
26	0.315	170	4210	84,2	15,8
25	0.250				
24	0.200	190	4400	88	12
23	0.160				
22	0.125	150	4550	91	9
21	0.100				
20	0.080	125	4675	93,5	6,5

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

PFE

Date de prélèvement : 15/06/03

Date de l'essai : 16/06/03

Nature du matériau : sable de dune

Poids Initial de l'échantillon:..... 1000 g

Module AFNOR	Dimension Maille carré	Poids des refus		Pourcentage	
		Séparément	Total	Refus	Passant
50	80.000				
49	63.000				
48	50.000				
47	40.000				
46	31.500				
45	25.000				
44	20.000				
43	16.000				
42	12.500				
41	10.000				
40	8.000				
39	6.300				
38	5.000				
37	4.000				
36	3.150				
35	2.500				
34	2.000	0	0	0,0	100,0
33	1.600				
32	1.250				
31	1.000	0	0	0,0	100,0
30	0.800				
29	0.630				
28	0.500	45	45	4,5	95,5
27	0.400				
26	0.315	105	150	15,0	85,0
25	0.250				
24	0.200	610	760	76,0	24,0
23	0.160				
22	0.125	80	840	84,0	16,0
21	0.100				
20	0.080	50	890	89,0	11,0

DETERMINATION DU COEFFICIENT D'APPLATISSEMENT

PFE

Nature : Concassé de basalte 8/16

Date de prélèvement : 10/06/03

Lieu de prélèvement : Diack

Date de l'essai : 11/06/03

Pi = 4000 g

Mo = 4000g

Tamisage sur tamis de maille carrée		Tamisage sur grilles à fentes		
Classes granulaires	Refus Mci	Ecartement grilles	Passants Mpi	Coef. partiel Ai (%)
31,5/40		20		
25/31,5		16		
20/25		12,5		
16/20	801,2	10	122,1	15,2
12,5/16	563,6	8	93	17,33
10/12,5	1365,6	6,3	198,7	14,6
"8/10	813,9	5	145,1	17,9
6,3/8	414,6	4	73,7	17,8
5/6,3	32,2	3,15	6	18,6
"4/5	3	2,5	1	33
Mc= somme (Mci)=3967,1		Mp= somme (Mpi)=639,6		
A = somme (Mpi)/somme (Mci) = 16 %				

PFE

Nature : Concassé de basalte 3/8.....

Date de prélèvement : 10/06/03.....

Lieu de prélèvement : Diack.....

Date de l'essai : 11/06/03.....

Pi = 3000 g

Mo = 1636,8g

Tamisage sur tamis de maille carrée		Tamisage sur grilles à fentes		
Classes granulaires	Refus Mci	Ecartement grilles	Passants Mpi	Coef. partiel Ai (%)
31,5/40		20		
25/31,5		16		
20/25		12,5		
16/20		10		
12,5/16		8		
10/12,5		6,3		
"8/10	9,1	5	2,4	26,4
6,3/8	384,3	4	117,5	30,6
5/6,3	517,6	3,15	123,4	23,8
"4/5	721,7	2,5	166	23
Mc= somme (Mci) = 1632,7		Mp= somme (Mpi) = 409,3		
A = somme (Mpi)/somme (Mci) = 25,07 %				

POIDS SPECIFIQUE PAR PESEE HYDROSTATIQUE

PFE

Nature : Concassé de basalte

Date de prélèvement : 10/06/03

Lieu de prélèvement : Diack

Date de l'essai : 11/06/03

Essai N°	Bassalte 8/16		Bassalte 3/8	
	E1	E2	E1	E2
Poids matériau dans l'air P1	1239,7	1396,1	1001,8	1010,9
Poids matériau dans l'eau P2	814,4	921,4	660,5	667,1
Volume matériau $V=P1-P2$	421,3	474,7	341,3	343,8
Poids spécifique matériau $P_s = P1 / V$	2,94	2,94	2,94	2,94
Poids spécifique moyen $P_s = P1 / V$	2,94		2,94	

MESURE DE POIDS SPECIFIQUE PAR PYCNOMETRE

PFE

Nature : Concassé de basalte 0/3

Date de prélèvement : 10/06/03

Lieu de prélèvement : Diack

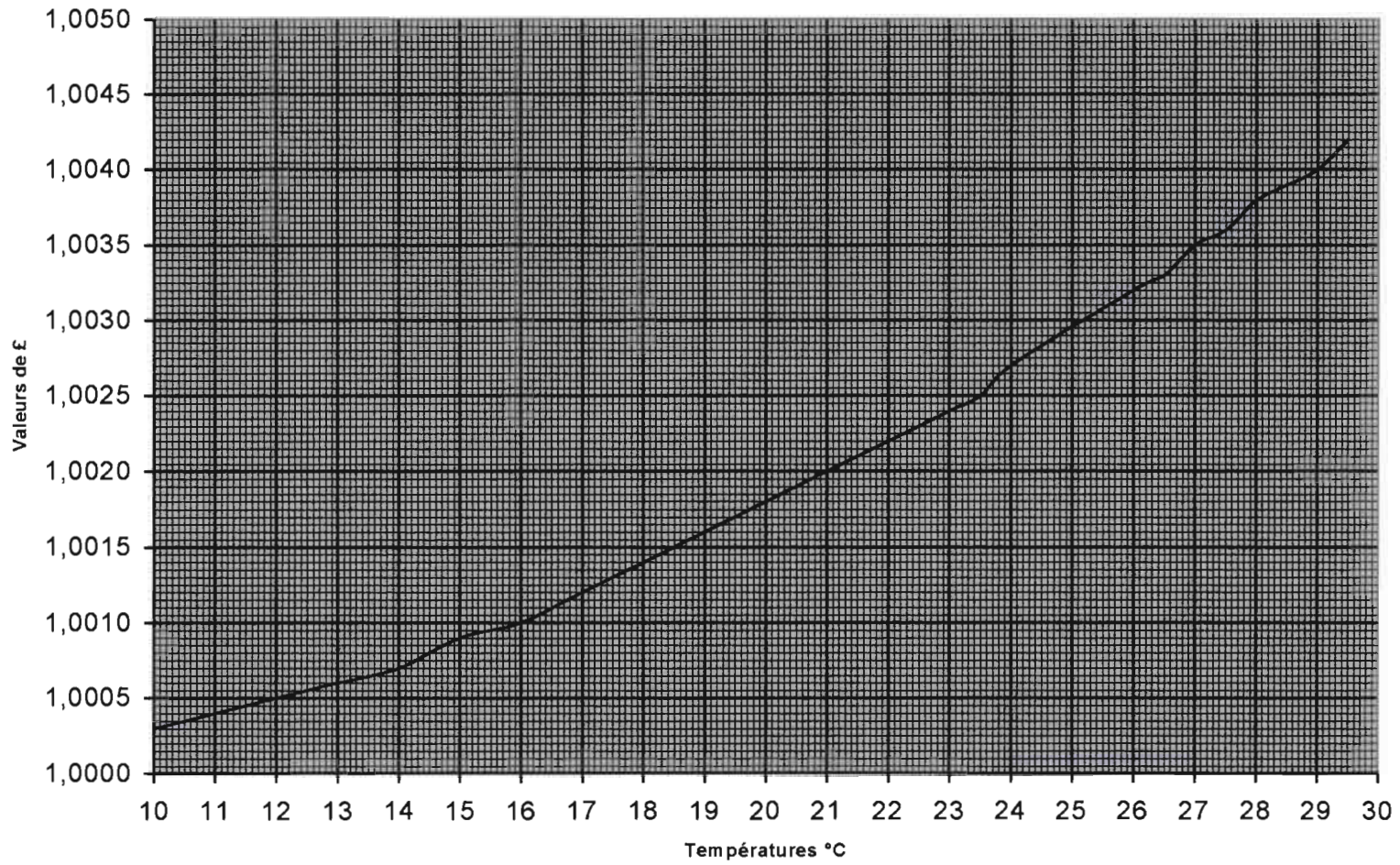
Date de l'essai : 11/06/03

Essai N°	E1	
Poids pycnomètre vide P0	49,2	
Poids pycnomètre plein d'eau P1	148,9	
Volume pycnomètre $V_p = \frac{P1 - P0}{\rho}$	100,019	$\rho = 1,0032$ à 26 °C
Poids pycnomètre+matériau P2	99,1	
Poids matériau sec $P_m = P2 - P0$	49,9	
Poids pycnomètre+sol sec+eau P3	182	$\rho = 1,0029$ à 25 °C
Volume de l'eau $V_e = \frac{P3 - P2}{\rho}$	83,14	
Volume absolu des grains $V_g = V_p - V_e$	16,88	
Poids spécifique du matériau $P_s = \frac{P_m}{V_g}$	2,956	
Température de l'eau	25-26°C	

Valeurs de ρ en fonction de la température de l'eau

Temp. en °C	ρ	Temp. en °C	ρ	Temp. en °C	ρ
10	1,0003	20,5	1,0019	26	1,0032
11	1,0004	21	1,0020	26,5	1,0033
12	1,0005	21,5	1,0021	27	1,0035
13	1,0006	22	1,0022	27,5	1,0036
14	1,0007	22,5	1,0023	28	1,0038
15	1,0009	23	1,0024	28,5	1,0039
16	1,0010	23,5	1,0025	29	1,0040
17	1,0012	24	1,0027	29,5	1,0042

Valeurs de ϵ
en fonction de la température de l'eau



ESSAI LOS ANGELES

PFE

Lieu de prélèvement : DIACK

Date de prélèvement : 10/06/03

Date de l'essai : 11/06/03

Nature des matériaux : Basalte 8/16

Masse de l'échantillon: 5000 g

Grade: B

Charge abrasive : 4584 ± 25 g

Nombre de tours: 500

Essai N°	1	2
Coefficient Los Angeles	12,3	12,1
Moyenne	12,21	

ESSAI LOS ANGELES

PFE

Lieu de prélèvement : DIACK

Date de prélèvement : 10/06/03

Date de l'essai : 11/06/03

Nature des matériaux : Basalte 3/8

Masse de l'échantillon: 5000 g

Grade: D

Charge abrasive : 2500 ± 15 g

Nombre de tours: 500

Essai N°	1	2
Coefficient Los Angeles	16,82	16,72
Moyenne	16,77	

ESSAI MICRO DEVAL

PFE

Lieu de prélèvement : DIACK

Date de prélèvement : 10/06/03

Date de l'essai : 11/06/03

Nature des matériaux : Basalte 8/16

Masse de l'échantillon: 500 g

Charge abrasive : 5000 ± 5 g

Nombre de tours: 12000

Essai N°	1	2
Coefficient Micro Deval	11,59	11,57
Moyenne	11,58	

ANNEXE 4

Fiches des essais Marshall

ESSAI MARSHALL

PFE

Tronçon...*Guéoul-Baralé II*.....

Date de prélèvement.....10/06/03.....

Lieu de prélèvement...*Diack*

Nature.....*BB 0/12*.....

Date de l'essai.....11/06/03.....

N° éprouvette	2	3	5
Composition %	Basalte 8/16 : 25	Basalte 8/16 : 25	Basalte 8/16 : 25
	Basalte 3/8 : 30	Basalte 3/8 : 30	Basalte 3/8 : 30
	Basalte 0/3 : 45	Basalte 0/3 : 45	Basalte 0/3 : 45
	Bitume 60/70 : 3,5	Bitume 60/70 : 3,5	Bitume 60/70 : 3,5
% Liant	3,5	3,5	3,5
Hauteur	6,26	6,23	6,33
Diamètre	10,20	10,20	10,20
Surface	81,67	81,67	81,67
Volume	511,3	508,8	517,0
Poids	1236,6	1238,6	1200,7
D.A. par MG	2,419	2,434	2,323
D.A. Par PH	2,447	2,447	2,447
D.R. enrobé	2,769	2,769	2,769
Compacité	88,4	88,4	88,4
% Vides	11,6	11,6	11,6
Stabilité	1850	1650	1650
Stabilité moyenne	1717		
Fluage	2,5	2,0	2,0
Fluage moyen	2,2		

Densité apparente par pesée hydrostatique

N° éprouvette	1	4
Poids dans l'air avant paraffinage	1230,6	1237,1
Poids dans l'air après paraffinage	1239,7	1248
Poids paraffine	9,1	10,9
Volume paraffine	10,11	12,11
Poids dans l'eau de l'éprouvette paraffinée	727,2	729,8
Volume éprouvette paraffine	512,5	518,2
Volume net éprouvette	502,4	506,1
Densité éprouvette	2,449	2,444
Densité moyenne enrobé	2,447	

ESSAI MARSHALL

PFE
 Tronçon... *Guéoul-Baralé II*.....
 Date de prélèvement..... *10/06/03*.....
 Lieu de prélèvement... *Diack*
 Nature..... *BB 0/12*.....
 Date de l'essai..... *11/06/03*.....

N° éprouvette	1	2	5
Composition %	Basalte 8/16 : 25	Basalte 8/16 : 25	Basalte 8/16 : 25
	Basalte 3/8 : 30	Basalte 3/8 : 30	Basalte 3/8 : 30
	Basalte 0/3 : 45	Basalte 0/3 : 45	Basalte 0/3 : 45
	Bitume 60/70 : 4,5	Bitume 60/70 : 4,5	Bitume 60/70 : 4,5
% Liant	4,5	4,5	4,5
Hauteur	6,40	6,26	6,24
Diamètre	10,20	10,20	10,20
Surface	81,67	81,67	81,67
Volume	522,7	511,3	509,6
Poids	1246,7	1249,3	1249,9
D.A. par MG	2,385	2,444	2,453
D.A. Par PH	2,484	2,484	2,484
D.R. enrobé	2,724	2,724	2,724
Compacité	91,2	91,2	91,2
% Vides	8,8	8,8	8,8
Stabilité	1730	1740	1750
Stabilité moyenne	1740		
Fluage	2,5	3,0	2,5
Fluage moyen	2,7		

Densité apparente par pesée hydrostatique

N° éprouvette	3	4
Poids dans l'air avant paraffinage	1184,5	1235,3
Poids dans l'air après paraffinage	1197,3	1248,2
Poids paraffine	12,8	12,9
Volume paraffine	14,22	14,33
Poids dans l'eau de l'éprouvette paraffinée	706,4	736,2
Volume éprouvette paraffine	490,9	512
Volume net éprouvette	476,7	497,7
Densité éprouvette	2,485	2,482
Densité moyenne enrobé	2,484	

ESSAI MARSHALL

PFE

Tronçon...*Guéoul-Baralé II*.....

Date de prélèvement..... 10/06/03.....

Lieu de prélèvement...*Diack*

Nature.....*BB 0/12*.....

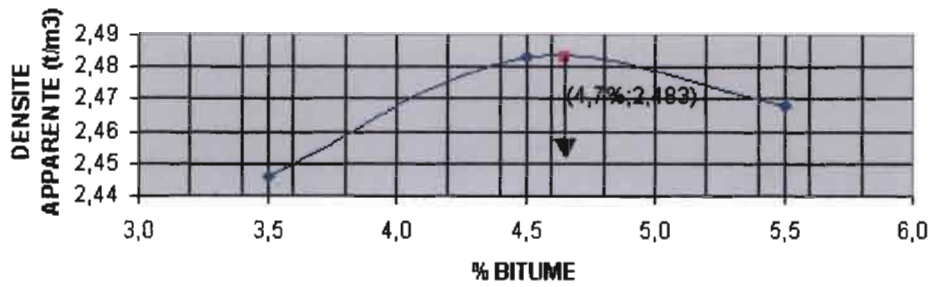
Date de l'essai..... 11/06/03.....

N° éprouvette	1	2	3
Composition %	Basalte 8/16 : 25	Basalte 8/16 : 25	Basalte 8/16 : 25
	Basalte 3/8 : 30	Basalte 3/8 : 30	Basalte 3/8 : 30
	Basalte 0/3 : 45	Basalte 0/3 : 45	Basalte 0/3 : 45
	Bitume 60/70 : 5,5	Bitume 60/70 : 5,5	Bitume 60/70 : 5,5
% Liant	5,5	5,5	5,5
Hauteur	6,16	6,16	6,25
Diamètre	10,20	10,20	10,20
Surface	81,67	81,67	81,67
Volume	503,1	503,1	510,4
Poids	1253,2	1258,0	1256,5
D.A. par MG	2,491	2,501	2,462
D.A. Par PH	2,468	2,468	0,000
D.R. enrobé	2,68	2,68	2,68
Compacité	92,1	92,1	92,1
% Vides	7,9	7,9	7,9
Stabilité	1750	1900	1850
Stabilité moyenne	1833		
Fluage	3,0	2,5	3,5
Fluage moyen	3,0		

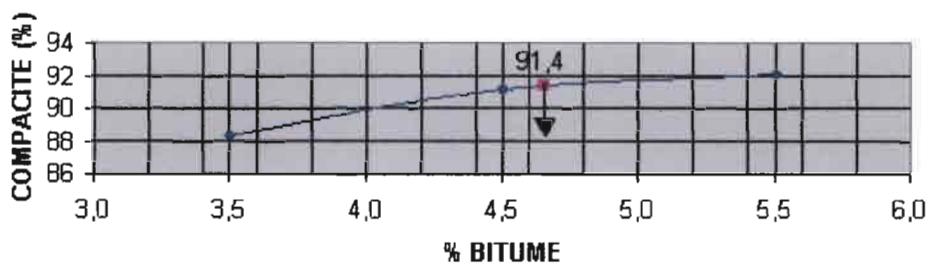
Densité apparente par pesée hydrostatique

N° éprouvette	4	5
Poids dans l'air avant paraffinage	1256,5	1253,8
Poids dans l'air après paraffinage	1272,6	1272,1
Poids paraffine	16,1	18,3
Volume paraffine	17,89	20,33
Poids dans l'eau de l'éprouvette paraffinée	746,6	742,7
Volume éprouvette paraffine	526	529,4
Volume net éprouvette	508,1	509,1
Densité éprouvette	2,473	2,463
Densité moyenne enrobé	2,468	

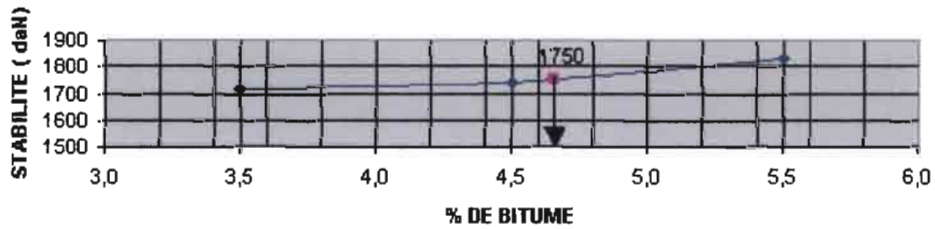
VARIATION DE LA D.A. EN FONCTION DU TAUX DE BITUME



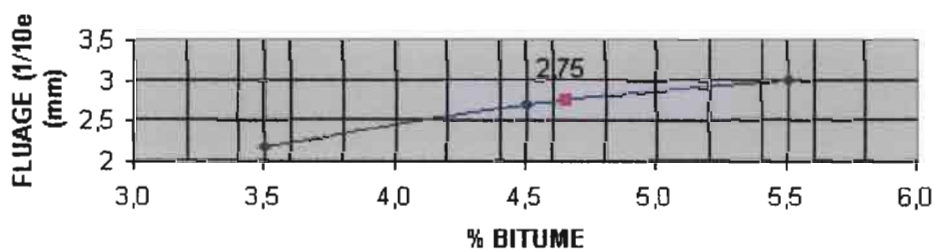
VARIATION DE LA COMPACTITE EN FONCTION DU TAUX DE BITUME



VARIATION DE LA STABILITE EN FONCTION DU TAUX DE BITUME



VARIATION DU FLUAGE EN FONCTION DU TAUX DE BITUME



ESSAI MARSHALL

PFE

Tronçon...*Touba-Kébémér-Iompul*

Date de prélèvement.....10/06/03.....

Lieu de prélèvement...*Diack*

Nature.....*BB 0/16*.....

Date de l'essai.....11/06/03.....

N° éprouvette	1	2	5
Composition %	Basalte 8/16 : 15	Basalte 8/16 : 15	Basalte 8/16 : 15
	Basalte 3/8 : 30	Basalte 3/8 : 30	Basalte 3/8 : 30
	Basalte 0/3 : 55	Basalte 0/3 : 55	Basalte 0/3 : 55
	Bitume 60/70 : 3	Bitume 60/70 : 3	Bitume 60/70 : 3
% Liant	3,0	3,0	3,0
Hauteur	6,40	6,26	6,48
Diamètre	10,20	10,20	10,20
Surface	81,67	81,67	81,67
Volume	522,7	511,3	529,2
Poids	1211,8	1220,3	1226,6
D.A. par MG	2,318	2,387	2,318
D.A . Par PH	2,395	2,395	2,395
D.R. enrobé	2,793	2,793	2,793
Compacité	85,7	85,7	85,7
% Vides	14,3	14,3	14,3
Stabilité	1420	1600	1450
Stabilité moyenne	1490		
Fluage	2,5	2,0	2,5
Fluage moyen	2,3		

Densité apparente par pesée hydrostatique

N° éprouvette	3	4
Poids dans l'air avant paraffinage	1222	1227,2
Poids dans l'air après paraffinage	1226,6	1236,9
Poids paraffine	4,6	9,7
Volume paraffine	5,11	10,78
Poids dans l'eau de l'éprouvette paraffinée	711,7	713,1
Volume éprouvette paraffine	514,9	523,8
Volume net éprouvette	509,8	513,0
Densité éprouvette	2,397	2,392
Densité moyenne enrobé	2,395	

ESSAI MARSHALL

PFE

Tronçon...*Touba-Kébémér-Iompul*.....

Date de prélèvement.....*10/06/03*.....

Lieu de prélèvement...*Diack*

Nature.....*BB 0/16*.....

Date de l'essai.....*11/06/03*.....

N° éprouvette	1	2	4
Composition %	Basalte 8/16 : 15	Basalte 8/16 : 15	Basalte 8/16 : 15
	Basalte 3/8 : 30	Basalte 3/8 : 30	Basalte 3/8 : 30
	Basalte 0/3 : 55	Basalte 0/3 : 55	Basalte 0/3 : 55
	Bitume 60/70 : 4	Bitume 60/70 : 4	Bitume 60/70 : 4
% Liant	4,0	4,0	4,0
Hauteur	6,39	6,41	6,24
Diamètre	10,20	10,20	10,20
Surface	81,67	81,67	81,67
Volume	521,9	523,5	509,6
Poids	1242,0	1239,6	1238,8
D.A. par MG	2,380	2,368	2,431
D.A. Par PH	2,452	2,452	2,452
D.R. enrobé	2,747	2,747	2,747
Compacité	89,3	89,3	89,3
% Vides	10,7	10,7	10,7
Stabilité	1550	1420	1700
Stabilité moyenne	1557		
Fluage	3,0	2,0	3,0
Fluage moyen	2,7		

Densité apparente par pesée hydrostatique

N° éprouvette	3	5
Poids dans l'air avant paraffinage	1240,6	1236,1
Poids dans l'air après paraffinage	1251	1246,1
Poids paraffine	10,4	10
Volume paraffine	11,56	11,11
Poids dans l'eau de l'éprouvette paraffinée	731,2	733,2
Volume éprouvette paraffine	519,8	512,9
Volume net éprouvette	508,2	501,8
Densité éprouvette	2,441	2,463
Densité moyenne enrobé	2,452	

ESSAI MARSHALL

PFE

Tronçon...*Touba-Kébémér-Iompul*.....

Date de prélèvement.....10/06/03.....

Lieu de prélèvement...*Diack*

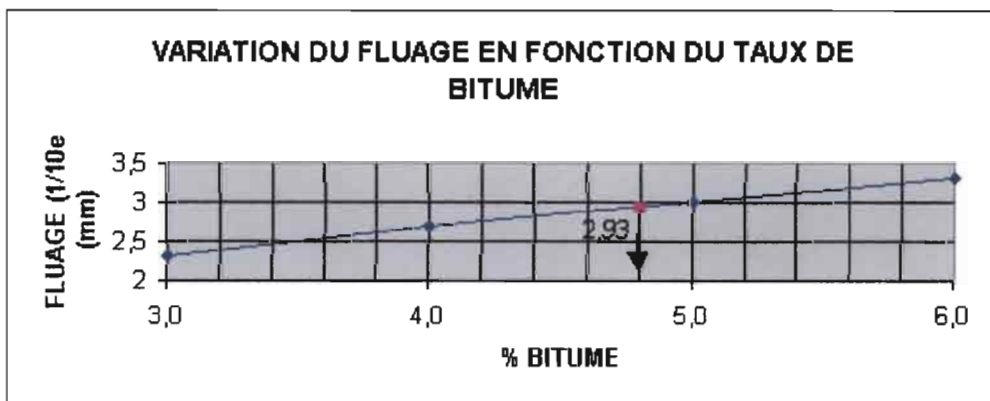
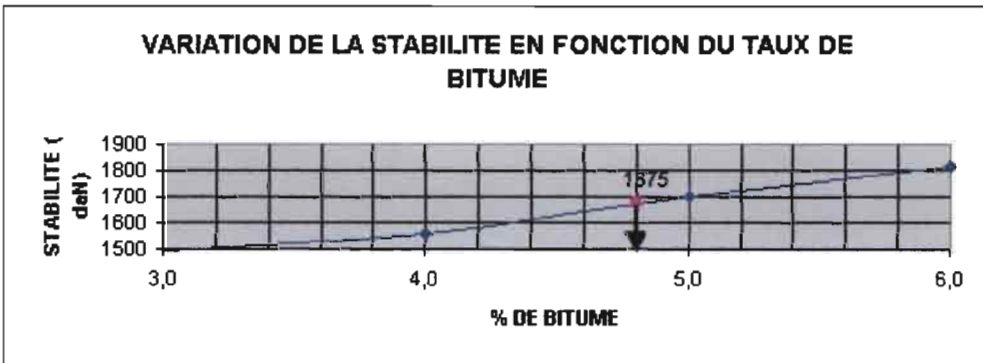
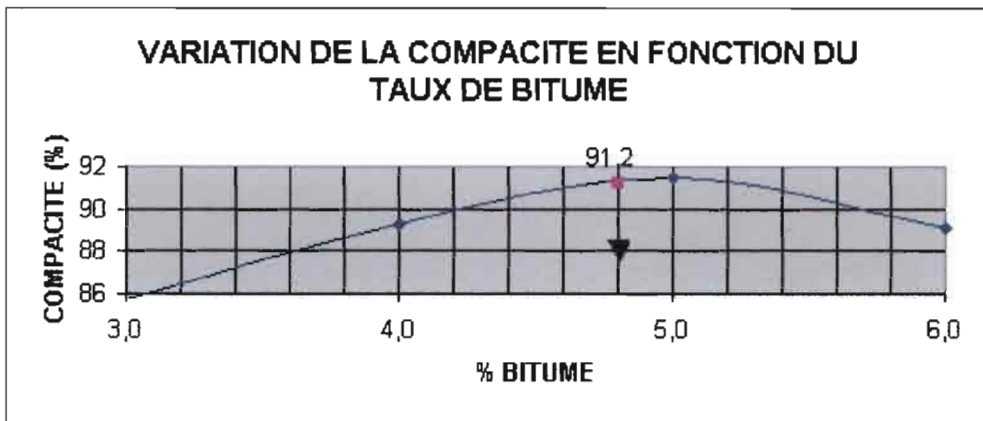
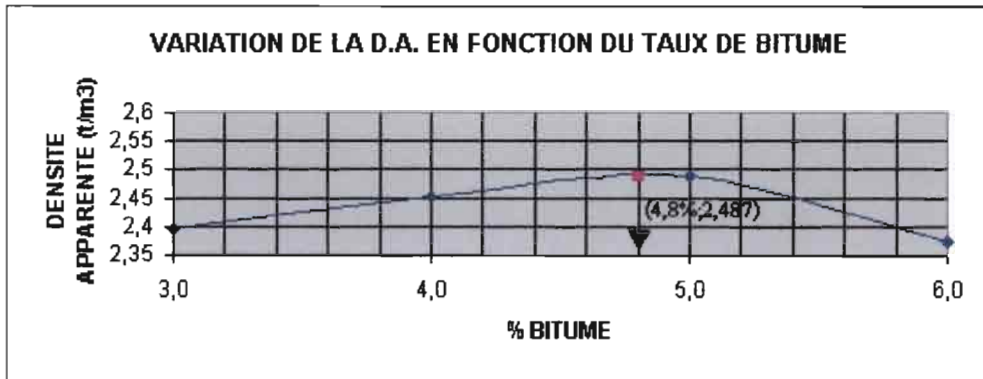
Nature.....*BB 0/16*.....

Date de l'essai.....11/06/03.....

N° éprouvette	2	3	4
Composition %	Basalte 8/16 : 15	Basalte 8/16 : 15	Basalte 8/16 : 15
	Basalte 3/8 : 30	Basalte 3/8 : 30	Basalte 3/8 : 30
	Basalte 0/3 : 55	Basalte 0/3 : 55	Basalte 0/3 : 55
	Bitume 60/70 : 5	Bitume 60/70 : 5	Bitume 60/70 : 5
% Liant	5,0	5,0	5,0
Hauteur	6,37	6,17	6,27
Diamètre	10,20	10,20	10,20
Surface	81,67	81,67	81,67
Volume	520,2	503,9	512,1
Poids	1247,3	1247,7	1246,5
D.A. par MG	2,398	2,476	2,434
D.A. Par PH	2,487	2,487	2,487
D.R. enrobé	2,70	2,70	2,70
Compacité	92,0	92,0	92,0
% Vides	8,0	8,0	8,0
Stabilité	1800	1760	1550
Stabilité moyenne	1703		
Fluage	2,9	3,2	2,8
Fluage moyen	3,0		

Densité apparente par pesée hydrostatique

N° éprouvette	1	5
Poids dans l'air avant paraffinage	1247,9	1242,8
Poids dans l'air après paraffinage	1257,9	1258,2
Poids paraffine	10	15,4
Volume paraffine	11,11	17,11
Poids dans l'eau de l'éprouvette paraffinée	745,4	740,9
Volume éprouvette paraffine	512,5	517,3
Volume net éprouvette	501,4	500,2
Densité éprouvette	2,489	2,485
Densité moyenne enrobé	2,487	



ESSAI MARSHALL

PFE

Tronçon...*Fass Mbao-Bargny*

Date de prélèvement.....18/06/03.....

Lieu de prélèvement...*Diack*

Nature.....*BB 0/16*.....

Date de l'essai.....18/06/03.....

N° éprouvette	1	2	4
Composition %	Basalte 8/16 : 25	Basalte 8/16 : 25	Basalte 8/16 : 25
	Basalte 3/8 : 12	Basalte 3/8 : 12	Basalte 3/8 : 12
	Basalte 0/3 : 48	Basalte 0/3 : 48	Basalte 0/3 : 48
	Bitume 60/70 : 3	Bitume 60/70 : 3	Bitume 60/70 : 3
% Liant	3,0	3,0	3,0
Hauteur	6,26	6,24	6,29
Diamètre	10,20	10,20	10,20
Surface	81,67	81,67	81,67
Volume	511,3	509,6	513,7
Poids	1220,0	1223,0	1220,0
D.A. par MG	2,386	2,400	2,375
D.A. Par PH	2,456	2,456	2,456
D.R. enrobé	2,795	2,795	2,795
Compacité	87,9	87,9	87,9
% Vides	12,1	12,1	12,1
Stabilité	1650	1640	1740
Stabilité moyenne	1677		
Fluage	2,5	2,5	2,0
Fluage moyen	2,3		

Densité apparente par pesée hydrostatique

N° éprouvette	3	5
Poids dans l'air avant paraffinage	1228,6	1203,8
Poids dans l'air après paraffinage	1242	1216,6
Poids paraffine	13,4	12,8
Volume paraffine	14,89	14,22
Poids dans l'eau de l'éprouvette paraffinée	721,7	717,2
Volume éprouvette paraffine	520,3	499,4
Volume net éprouvette	505,4	485,2
Densité éprouvette	2,431	2,481
Densité moyenne enrobé	2,456	

ESSAI MARSHALL

PFE

Tronçon...*Fass Mbao-Bargny*.....

Date de prélèvement.....15/06/03.....

Lieu de prélèvement...*Diack*

Nature.....*BB 0/16*.....

Date de l'essai.....18/06/03.....

N° éprouvette	3	4	5
Composition %	Basalte 8/16 : 40	Basalte 8/16 : 40	Basalte 8/16 : 40
	Basalte 3/8 : 12	Basalte 3/8 : 12	Basalte 3/8 : 12
	Basalte 0/3 : 48	Basalte 0/3 : 48	Basalte 0/3 : 48
	Bitume 60/70 : 4	Bitume 60/70 : 4	Bitume 60/70 : 4
% Liant	4,0	4,0	4,0
Hauteur	6,20	6,30	6,17
Diamètre	10,20	10,20	10,20
Surface	81,67	81,67	81,67
Volume	506,4	514,5	503,9
Poids	1238,5	1236,6	1235,0
D.A. par MG	2,446	2,403	2,451
D.A . Par PH	2,485	2,485	2,485
D.R. enrobé	2,749	2,749	2,749
Compacité	90,4	90,4	90,4
% Vides	9,6	9,6	9,6
Stabilité	1700	1720	1740
Stabilité moyenne	1720		
Fluage	2,5	3,5	2,5
Fluage moyen	2,8		

Densité apparente par pesée hydrostatique

N° éprouvette	1	2
Poids dans l'air avant paraffinage	1238,2	1238,3
Poids dans l'air après paraffinage	1253,4	1253,3
Poids paraffine	15,2	15
Volume paraffine	16,89	16,67
Poids dans l'eau de l'éprouvette paraffinée	741,2	735,4
Volume éprouvette paraffinée	512,2	517,9
Volume net éprouvette	495,3	501,2
Densité éprouvette	2,500	2,471
Densité moyenne enrobé	2,485	

ESSAI MARSHALL

PFE

Tronçon...fass Mbaou-Bargny.....

Date de prélèvement.....10/06/03.....

Lieu de prélèvement...Diack

Nature.....BB 0/16.....

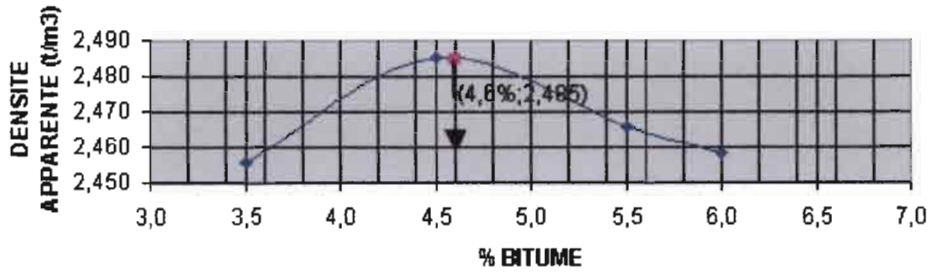
Date de l'essai.....11/06/03.....

N° éprouvette	1	2	3
Composition %	Basalte 8/16 : 40	Basalte 8/16 : 40	Basalte 8/16 : 40
	Basalte 3/8 : 12	Basalte 3/8 : 12	Basalte 3/8 : 12
	Basalte 0/3 : 48	Basalte 0/3 : 48	Basalte 0/3 : 48
	Bitume 60/70 : 5	Bitume 60/70 : 5	Bitume 60/70 : 5
% Liant	5,0	5,0	5,0
Hauteur	6,18	6,12	6,06
Diamètre	10,20	10,20	10,20
Surface	81,67	81,67	81,67
Volume	504,7	499,8	494,9
Poids	1244,7	1245,6	1249,1
D.A. par MG	2,466	2,492	2,524
D.A. Par PH	2,466	2,466	2,466
D.R. enrobé	2,71	2,71	2,71
Compacité	91,2	91,2	91,2
% Vides	8,8	8,8	8,8
Stabilité	1600	1500	1785
Stabilité moyenne	1628		
Fluage	3,0	3,0	3,0
Fluage moyen	3,0		

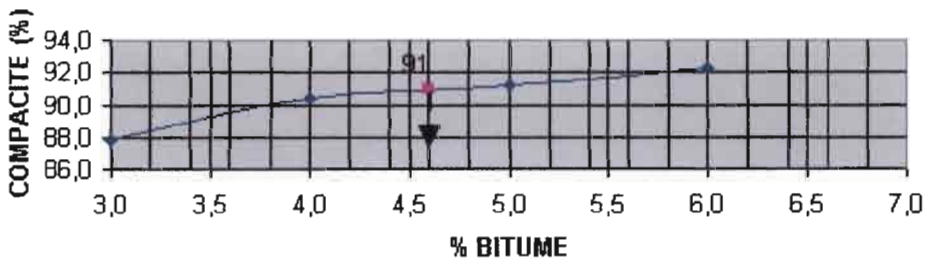
Densité apparente par pesée hydrostatique

N° éprouvette	4	5
Poids dans l'air avant paraffinage	1248,2	1251
Poids dans l'air après paraffinage	1259	1261,3
Poids paraffine	10,8	10,3
Volume paraffine	12,00	11,44
Poids dans l'eau de l'éprouvette paraffinée	740,1	743,3
Volume éprouvette paraffine	518,9	518
Volume net éprouvette	506,9	506,6
Densité éprouvette	2,462	2,470
Densité moyenne enrobé	2,466	

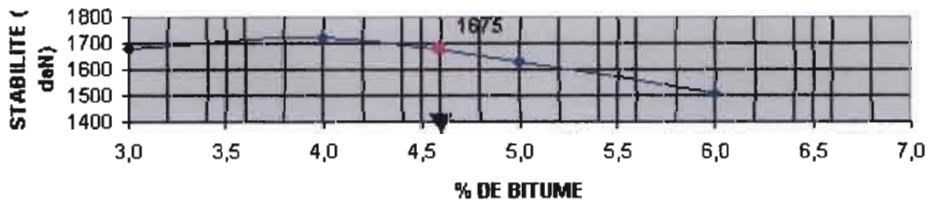
VARIATION DE LA D.A. EN FONCTION DU TAUX DE BITUME



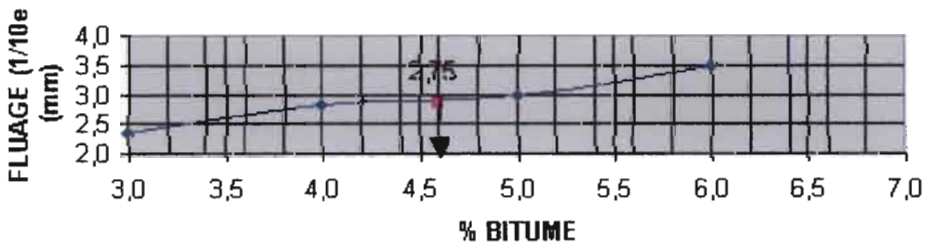
VARIATION DE LA COMPACTITE EN FONCTION DU TAUX DE BITUME



VARIATION DE LA STABILITE EN FONCTION DU TAUX DE BITUME



VARIATION DU FLUAGE EN FONCTION DU TAUX DE BITUME



ESSAI MARSHALL

PFE

Tronçon...*Guéoul-Baralé II*.....

Date de prélèvement.....*10/06/03*.....

Lieu de prélèvement...*Diack*

Nature.....*BB 0/12*.....

Date de l'essai.....*19/06/03*.....

N° éprouvette	2	3	4
Composition %	Basalte 8/16 : 25	Basalte 8/16 : 25	Basalte 8/16 : 25
	Basalte 3/8 : 30	Basalte 3/8 : 30	Basalte 3/8 : 30
	Basalte 0/3 : 40	Basalte 0/3 : 40	Basalte 0/3 : 40
	Sable : 5	Sable : 5	Sable : 5
	Bitume 60/70 : 4,7	Bitume 60/70 : 4,7	Bitume 60/70 : 4,7
% Liant	4,7	4,7	4,7
Hauteur	6,30	6,29	6,27
Diamètre	10,20	10,20	10,20
Surface	81,67	81,67	81,67
Volume	514,5	513,7	512,1
Poids	1246,6	1245,0	1244,5
D.A. par MG	2,423	2,424	2,430
D.A. Par PH	2,501	2,501	2,501
D.R. enrobé	2,699	2,699	2,699
Compacité	92,7	92,7	92,7
% Vides	7,3	7,3	7,3
Stabilité	1795	1800	1810
Stabilité moyenne	1802		
Fluage	2,0	2,0	2,5
Fluage moyen	2,2		

Densité apparente par pesée hydrostatique

N° éprouvette	1	2
Poids dans l'air avant paraffinage	1183,3	1233,8
Poids dans l'air après paraffinage	1202,8	1248,6
Poids paraffine	19,5	14,8
Volume paraffine	21,67	16,44
Poids dans l'eau de l'éprouvette paraffinée	707,4	739,5
Volume éprouvette paraffine	495,4	509,1
Volume net éprouvette	473,7	492,7
Densité éprouvette	2,498	2,504
Densité moyenne enrobé	2,501	

ESSAI MARSHALL

PFE

Tronçon...*Guéoul-Baralé II*.....

Date de prélèvement.....10/06/03.....

Lieu de prélèvement...*Diack*

Nature.....*BB 0/12*.....

Date de l'essai.....20/06/03.....

N° éprouvette	2	3	4
Composition %	Basalte 8/16 : 25	Basalte 8/16 : 25	Basalte 8/16 : 25
	Basalte 3/8 : 25	Basalte 3/8 : 25	Basalte 3/8 : 25
	Basalte 0/3 : 42	Basalte 0/3 : 42	Basalte 0/3 : 42
	Ciment : 3	Ciment : 3	Ciment : 3
	Bitume 60/70 : 4,7	Bitume 60/70 : 4,7	Bitume 60/70 : 4,7
% Liant	4,7	4,7	4,7
Hauteur	6,25	6,26	6,23
Diamètre	10,20	10,20	10,20
Surface	81,67	81,67	81,67
Volume	510,4	511,3	508,8
Poids	1245,1	1243,9	1242,9
D.A. par MG	2,439	2,433	2,443
D.A. Par PH	2,526	2,526	2,526
D.R. enrobé	2,718	2,718	2,718
Compacité	92,9	92,9	92,9
% Vides	7,1	7,1	7,1
Stabilité	1760	1780	1750
Stabilité moyenne	1763		
Fluage	2,5	2,5	2,5
Fluage moyen	2,5		

Densité apparente par pesée hydrostatique

N° éprouvette	1	2
Poids dans l'air avant paraffinage	1184,2	1234,3
Poids dans l'air après paraffinage	1196,9	1247,9
Poids paraffine	12,7	13,6
Volume paraffine	14,11	15,11
Poids dans l'eau de l'éprouvette paraffinée	713,5	744,6
Volume éprouvette paraffine	483,4	503,3
Volume net éprouvette	469,3	488,2
Densité éprouvette	2,523	2,528
Densité moyenne enrobé	2,526	

ANNEXE 5

Fiches des essais LCPC Duriez

DURIEZ

PFE

Tronçon... Guéoul-Baralé II

Date de prélèvement..... 10/06/03

Lieux de prélèvement... DIACK/COGECA..

Nature..... BB 0/12

Date de l'essai..... 18/06/03

Essai d'écrasement	à l'air 18° après 24h			à l'air à 18° après 7j			à l'eau à 18° après 7j		
Composition %	Basalte 8/16 : 25			Basalte 8/16 : 25			Basalte 8/16 : 25		
	Basalte 3/8 : 30			Basalte 3/8 : 30			Basalte 3/8 : 30		
	Basalte 0/3 : 45			Basalte 0/3 : 45			Basalte 0/3 : 45		
	Bitume 60/70 : 4,7			Bitume 60/70 : 4,7			Bitume 60/70 : 4,7		
Liant %	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
N° éprouvette	4	5	6	1	2	3	7	8	9
Hauteur avant écrasement	8,21	8,20	8,20	8,21	8,19	8,21	8,30	8,35	8,40
Diamètre avant écrasement	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Surface éprouvette	50,24	50,24	50,24	50,24	50,24	50,24	50,24	50,24	50,24
Volume éprouvette	412,27	411,97	411,72	412,27	411,52	412,22	416,79	419,25	422,17
Hauteur après écrasement	8,00	7,97	7,80	7,86	7,84	7,81	7,96	8,19	8,06
Diamètre après écrasement	8,15	8,20	8,23	8,29	8,11	8,17	8,14	8,10	8,25
Poids éprouvette	1007,0	1005,8	1006	1001,7	1007,3	1004,9	1009,6	1006,2	1001,8
D.A. par M.G.	2,443	2,441	2,443	2,430	2,448	2,438	2,422	2,400	2,373
D.A. par P.H.	2,451	2,451	2,451	2,451	2,451	2,451	2,451	2,451	2,451
Densité réelle enrobé	2,769	2,769	2,769	2,769	2,769	2,769	2,769	2,769	2,769
Indice de compacité	88,5	88,5	88,5	88,5	88,5	88,5	88,5	88,5	88,5
Pourcentage de vide	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5
Stabilité duriez	2700	2850	3200	3050	3000	3100	2100	2000	2600
Résistance duriez	54	57	64	61	60	62	42	40	52
Stabilité duriez moyenne	2917			3050			2233		
Résistance duriez moy.	58			61			44		
Rapport imm./comp.				0,73					
				Poids après immersion			1032,2	1027,8	1025,4
				Taux d'absorption			2,2	2,1	2,4
				Taux moy. d'abs.			2,2		

Densité apparente par pesée hydrostatique

N° éprouvette	10	11
Poids dans l'air avant paraffinage	1008,1	1005,2
Poids dans l'air après paraffinage	1024	1023,9
Poids parafine	15,9	18,7
Volume parafine	17,7	20,8
Poids ds l'eau de l'éprouvette Paraff	596,5	591,4
Volume éprouvette Paraffinée	427,5	432,5
Volume net éprouvette	409,8	411,7
Densité éprouvette	2,460	2,441
Densité moyenne enrobé	2,451	

DURIEZ

PFE

Tronçon... Guéoul-Baralé II

Date de prélèvement..... 10/06/03

Lieux de prélèvement... DIACK/COGECA ..

Nature..... BB 0/12

Date de l'essai..... 19/06/03

Essai d'écrasement	à l'air 18° après 24h			à l'air à 18° après 7j			à l'eau à 18° après 7j		
Composition %	Basalte 8/16 : 25			Basalte 8/16 : 25			Basalte 8/16 : 25		
	Basalte 3/8 : 30			Basalte 3/8 : 30			Basalte 3/8 : 30		
	Basalte 0/3 : 40			Basalte 0/3 : 40			Basalte 0/3 : 40		
	Sable 5			Sable 5			Sable 5		
	Bitume 60/70 : 4,7			Bitume 60/70 : 4,7			Bitume 60/70 : 4,7		
Liant %	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
N° éprouvette	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Hauteur avant écrasement	8,20	8,19	8,20	8,20	8,19	8,21	8,22	8,21	8,20
Diamètre avant écrasement	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Surface éprouvette	50,24	50,24	50,24	50,24	50,24	50,24	50,24	50,24	50,24
Volume éprouvette	411,97	411,47	411,72	411,97	411,52	412,22	412,97	412,47	411,97
Hauteur après écrasement	8,00	7,97	7,80	7,86	7,84	7,81	7,96	8,19	8,06
Diamètre après écrasement	8,15	8,20	8,23	8,29	8,11	8,17	8,14	8,10	8,25
Poids éprouvette	1005,1	1007,0	1006,5	1003,0	1004,6	1004,9	1008,0	1006,2	1004,3
D.A. par M.G.	2,440	2,447	2,445	2,435	2,441	2,438	2,441	2,439	2,438
D.A. par P.H.	2,481	2,481	2,481	2,481	2,481	2,481	2,481	2,481	2,481
Densité réelle enrobé	2,699	2,699	2,699	2,699	2,699	2,699	2,699	2,699	2,699
Indice de compacité	91,9	91,9	91,9	91,9	91,9	91,9	91,9	91,9	91,9
Pourcentage de vides	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1
Stabilité duriez	2900	2850	3100	3050	3150	3120	2400	2310	2450
Résistance duriez	58	57	62	61	63	62	48	46	49
Stabilité duriez moyenne	2950			3107			2387		
Résistance duriez moy.	59			62			48		
Rapport imm./comp.				0,77					
				Poids après imm.			1030,0	1027,8	1025,4
				Taux d'absorption			2,2	2,1	2,1
				Taux moy. d'abs.			2,1		

Densité apparente par pesée hydrostatique

N° éprouvette	10	11
Poids dans l'air avant paraffinage	1007	1008
Poids dans l'air après paraffinage	1030	1028
Poids parafine	23,6	19,7
Volume parafine	26,2	21,9
Poids ds l'eau de l'éprouvette Paraff	597,7	600,1
Volume éprouvette Paraffinée	432,4	427,6
Volume net éprouvette	406,2	405,7
Densité éprouvette	2,478	2,485
Densité moyenne enrobé	2,481	

DURIEZ

PFE

Tronçon... Guéoul-Baralé II

Date de prélèvement..... 10/06/03

Lieux de prélèvement... DIACK/COGECA ..

Nature..... BB 0/12

Date de l'essai..... 20/06/03

Essai d'écrasement	à l'air 18° après 24h			à l'air à 18° après 7j			à l'eau à 18° après 7j		
Composition %	Basalte 8/16 : 25			Basalte 8/16 : 25			Basalte 8/16 : 25		
	Basalte 3/8 : 30			Basalte 3/8 : 30			Basalte 3/8 : 30		
	Basalte 0/3 : 42			Basalte 0/3 : 42			Basalte 0/3 : 42		
	Ciment : 3			Ciment : 3			Ciment : 3		
	Bitume 60/70 : 4,7			Bitume 60/70 : 4,7			Bitume 60/70 : 4,7		
Liant %	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
N° éprouvette	4	5	6	1	2	3	7	8	9
Hauteur avant écrasement	8,21	8,20	8,20	8,21	8,19	8,21	8,30	8,35	8,40
Diamètre avant écrasement	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Surface éprouvette	50,24	50,24	50,24	50,24	50,24	50,24	50,24	50,24	50,24
Volume éprouvette	412,27	411,97	411,72	412,27	411,52	412,22	416,79	419,25	422,17
Hauteur après écrasement	8,00	7,97	7,80	7,86	7,84	7,81	7,96	8,19	8,06
Diamètre après écrasement	8,15	8,20	8,23	8,29	8,11	8,17	8,14	8,10	8,25
Poids éprouvette	1007,0	1006	1006	1002	1007	1005	1010	1006	1001,8
D.A. par M.G.	2,443	2,441	2,443	2,430	2,448	2,438	2,422	2,400	2,373
D.A. par P.H.	2,514	2,514	2,514	2,514	2,514	2,514	2,514	2,514	2,514
Densité réelle enrobé	2,718	2,718	2,718	2,718	2,718	2,718	2,718	2,718	2,718
Indice de compacité	92,5	92,5	92,5	92,5	92,5	92,5	92,5	92,5	92,5
Pourcentage de vides	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
Stabilité duriez	3000	3050	3200	3160	3210	3170	2600	2520	2500
Résistance duriez	60	61	64	63	64	63	52	50	50
Stabilité duriez moyenne	3083			3180			2540		
Résistance duriez moy.	61			63			51		
Rapport imm./comp.				0,80					
	Poids après Imm.						1029,8	1026,8	1022,9
	Taux d'absorption						2,0	2,0	2,1
	Taux moy. d'abs.						2,1		

Densité apparente par pesée hydrostatique

N° éprouvette	10	11
Poids dans l'air avant paraffinage	1007,1	1004,9
Poids dans l'air après paraffinage	1024,7	1025,5
Poids parafine	17,6	20,6
Volume parafine	19,6	22,9
Poids ds l'eau de l'éprouvette Paraff	604,3	603,2
Volume éprouvette Paraffinée	420,4	422,3
Volume net éprouvette	400,8	399,4
Densité éprouvette	2,512	2,516
Densité moyenne enrobé	2,514	