



Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
International Institute for Water and Environmental Engineering



FORMULATION DES ENDUITS SUPERFICIELS : CAS DES RUES ANNEXES A L'AVENUE DE LA LIBERTE A OUAGADOUGOU

**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE
MASTER EN INGÉNIERIE DE L'EAU ET DE
L'ENVIRONNEMENT
OPTION : GENIE CIVIL**

Présenté et soutenu publiquement le ... Juin 2012 par :

TINDANO TILAMANOU VERONIQUE

Travaux dirigés par :

M. Ismaïla GUEYE

Enseignant au 2iE (UTER ISM)

M. Ali SANA

Chef de service de département Géotechnique Routière au LNBTP

Jury d'évaluation du stage :

Président : Dr. Ismaïla GUEYE

Membres et correcteurs : M. Ali SANA

M. Abdou LAWANE

Promotion 2011 – 2012

REMERCIEMENTS

Mes remerciements vont tout d'abord à l'endroit de mes parents, amis et connaissances pour leur soutien moral tout au long de l'élaboration du présent mémoire.

Je remercie Le Directeur Général du Laboratoire National de Bâtiment et des Travaux publics (LNBTP) pour m'avoir permis de réaliser les travaux d'étude au sein du laboratoire national en m'accordant un stage de trois mois.

Je remercie très particulièrement M. Ali SANA, Chef du Département Géotechnique routière au LNBTP, qui a dirigé mes travaux au sein du laboratoire. M. SANA a témoigné à mon égard une très grande disponibilité et a toujours prêté une oreille attentive à toutes mes préoccupations. Et pour tout cela, je lui suis infiniment reconnaissante.

Je remercie M. Ismaëla GUEYE pour sa disponibilité en tant que professeur de suivi pour l'élaboration du présent mémoire. Ses conseils et suggestions m'ont été d'une utilité inestimable.

J'adresse de très profonds remerciements à l'ensemble du corps professoral de l'Institut International de l'Eau et de l'Environnement (2ie), qui n'a jamais ménagé aucun effort pour répondre aux différentes préoccupations que j'ai eu à leur soumettre tout au long de mes études au 2ie et particulièrement pour la réalisation du présent mémoire.

Je n'oublie pas l'ensemble du personnel du LNBTP qui m'a apporté son aide lors de l'exécution des essais de laboratoire.

RESUME

La question face à la multitude des dosages proposés par les bureaux d'études et de contrôles dans l'exécution des revêtements en enduits superficiels se pose de plus en plus avec acuité dans les projets routiers.

Cet état de fait a conduit à une réflexion sur les paramètres influençant la qualité des enduits superficiels. Et aussi sur sa formulation et sa mise en œuvre. Cette réflexion, ainsi que le souci de montrer les avantages de ce choix de revêtement sont au centre du présent projet d'étude qui a pour thème : Formulation des enduits superficiels : Cas des rues annexes à l'avenue de la liberté à Ouagadougou.

Le suivi de chantier a permis de toucher au bout du doigt la réalisation des enduits superficiels bicouche. Des prélèvements ont été effectués sur le chantier à savoir le bitume fluidifié pour l'imprégnation, le concassé de granite de la classe 10/14 pour la première couche de l'enduit, le concassé de granite de la classe 6/10 pour la deuxième couche et le bitume pur, pour des essais en laboratoire. Les analyses des résultats ont été faites en vue d'une comparaison par rapport aux résultats exigés dans le CCTP.

Mots clés :

1. Enduits superficiel ;
2. Formulation ;
3. Dosage ;
4. Concassé de granite ;
5. Bitume
6. Essai en laboratoire
7. Analyses des résultats

ABSTRACT

The question facing the multitude of assays offered by consulting firms and controls in the performance of coatings in surface coatings arises more acutely in road projects.

This fact has led to a reflection on the parameters influencing the quality of surface coatings. And also on its formulation and implementation. This reflection and the desire to show the advantages of this choice of coating are the focus of this research project with the theme: Formulation of surface coatings: Case of streets incidental to Liberty Avenue in Ouagadougou.

Monitoring site has allowed to touch the fingertip achieving the bilayer surface coatings. A sample was taken at the site the bitumen in the impregnation, the crushed granite class 10/14 for the first layer of plaster, crushed granite class 6/10 for the second layer of bitumen and, for the laboratory identification tests. Outcome analyzes were made for a comparison with results required in the CCTP.

Keywords:

1. Coatings superficial;
2. Formulation;
3. Dosage;
4. Crushed granite;
5. Bitumen
- 6 .Test in laboratory
7. Analysis of results

LISTE DES ABREVIATIONS

LNBTB : Laboratoire National de Bâtiment et des Travaux Publics

CCTP : Cahier des Clauses techniques particulières

LA : Los Angeles

MDE : Micro-Deval en présence d'eau

AIPCR : Association International de permanente Des congrès de la Route

NF : Norme Française

STV : Standard Tar viscosimètre

SETRA : Service d'étude technique des routes et Auto routes

LCPC : Laboratoire Centrale de Ponts et Chaussées

Cc : Coefficient de courbure

Cu : Coefficient d'uniformité

2ie : Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement

ATP : Africaine des Travaux Publics

GTAH : Bureau d'étude d'Ingénierie d'organisation en génie civil, Transport, Aménagement hydraulique.

DGOA : Direction Générale des Ouvrages d'Art

DGR : Département Géotechnique Routière

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Les valeurs des essais Los Angeles et Micro-Deval MDE pour les granulats destinés à la fabrication des enduits superficiel, en fonction des différentes classes de trafic

Tableau 2 : les seuils d'acceptation des granulats en fonction de leurs forme et du niveau de trafic des différents pays .

Tableau 3 : Les classes et les températures de répendage selon les normes Française

Tableau 4 : Catégories de trafic

Tableau 5 : Caractéristiques des matériaux selon le CCTP

Tableau 6 : Pénétrabilité à 25 °C, 100g, 5s (NF T 66-004)

Tableau 7 : Point de ramollissement bille et anneau (NF T 66-008)

Tableau 8 : Densité relative à 25°C méthode au pycnomètre (NF T 66-007)

Tableau 9 : Calcul des coefficients de courbure et d'uniformité des matériaux issus des concassés de granite des deux (2) classes (10/14 ;6/10).

Tableau 10 : Mesure du coefficient d'aplatissement

Tableau 11 : Détermination de la propreté superficielle (classe 10/14)

Tableau 12 : Essai los angeles (10/14)

Tableau 13 : Essai los angeles (6/10)

Tableau 14 : Essai d'adhésivité à la plaque vialit des liants anhydres

Tableau 15 : Résumé des résultats sur les liants hydrocarbonés

Tableau 16 : Calcul des coefficients d'uniformité et de courbure des concassés de granite 10/14

Tableau 18 : exemple de tableau indiquant pour chaque type de structure des formulations moyennes.

Tableau 19 : Enduit bicouche – Formulation moyenne

Tableau 20: Contrôle des dosages pendant l'exécution (1^{ère} couche)

Tableau 21: Contrôle des dosages pendant l'exécution (2^{ème} couche)

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Courbe granulométrique du matériau 10/14

Figure 2 : Courbe granulométrique du matériau 6/10

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	ii
RESUME.....	iii
ABSTRACT	iv
LISTE DES ABREVIATIONS	v
LISTE DES TABLEAUX	vi
LISTE DES FIGURES	vii
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I : PRESENTATION DU CADRE DE L'ETUDE.....	3
I.1. Présentation de la structure d'accueil.....	3
I.2 Le projet d'étude	3
I.2.1 Description du Projet.....	3
I.2.2 Partie de Recherche du projet en relation avec le thème de recherche	5
I.2.3 Localisation de la zone du projet	6
CHAPITRE II : LES ENDUITS SUPERFICIELS	7
II.1 Généralités	7
II.2. Rôles des enduits superficiels.....	7
II.3. Les constituants	8
II.3.1 Les granulats (le concassé de granite)	8
II.3.2 Les liants hydrocarbonés	8
II.3.3 Les dopes	9
CHAPITRE III : ETUDE DES PARAMETRES INFLUANTS LA QUALITE DES ENDUITS SUPERFICIELLES.....	10
III.1 La dureté de la roche (Los Angeles- Micro Duval).....	10
III.2 La forme des granulats (coefficient d'aplatissement).....	11
III.3 Propreté des granulats	11
III.4 Classement du bitume	12
III.5 Adhésivité bitume-granulats :.....	13
III.6 La qualité de mise en œuvre (respect des dosages).	14
III.7 Les effets du temps et du climat	14
III.8 Les effets du trafic.....	15
CHAPITRE IV: ANALYSE DES DOSAGES PRATIQUES DANS LE CADRE DES TRAVAUX DES VOIES ANNEXES DE L'AVENUE DE LA LIBERTE : Mise en œuvre de la rue El Hadji Yacouba FOFANA.....	16

IV.1 Prélèvement des matériaux.....	16
IV.2 Essai d'Identification des liants hydrocarbonés	17
IV.2.1 Essai d'identification du bitume pur	17
IV.3 Les essais d'identification et de résistance du concassé de granite 6/10 et 10/14.....	19
IV.4 Essai Vialit d'adhésivité à la plaque des liants anhydre.....	25
IV.5 Analyse des résultats	26
CHAPITRE V : RECOMMANDATIONS SUR LA FORMULATION DES ENDUITS SUPERFICIELS	30
V.1 Le choix de la structure de l'enduit	30
V.2 Le choix du liant.....	31
V.3 Le choix des granulats	31
V.4 Affinité liant-granulat	32
V.5 Les dosages en liant et en granulats en fonction de la granulométrie à employer et aussi de la structure de l'enduit.....	33
CHAPITRE VI : RECOMMANDATIONS SUR LES EXECUTIONS	36
DES ENDUITS SUPERFICIELS	36
VI.1 Les opérations préliminaires liées à la préparation du support et aux approvisionnements.....	36
VI.2 Les contrôles d'exécutions	38
VI.3 Les résultats.....	39
CONCLUSION	43
BIBLIOGRAPHIE	45
ANNEXES.....	46

INTRODUCTION

La construction routière est un paramètre incontournable dans l'accroissement de l'activité économique des pays de l'Afrique tropicale, presque tous indépendants depuis peu. Pour le Burkina Faso en particulier, en plus de l'accroissement de l'activité économique, la nécessité de désenclavement du pays soulève de nombreuses questions dans le domaine de la construction routière, tant sur le plan technique qu'économique.

En effet, la question des techniques de réalisation, celle des matériaux de construction, et celle de l'économie des projets, se pose avec une acuité toute particulière dans ces pays dits en voie de développement dont les capacités financières sont très limitées et où toute technique envisagée doit tenir compte de cette situation. A cet effet, un accent particulier est mis sur la réalisation d'une des couches de la chaussée en vue d'augmenter sa performance.

Pour les routes revêtues, la structure des chaussées comporte une couche de forme, une couche de fondation, une couche de base et une couche de roulement (revêtement). C'est par la couche de roulement que l'automobiliste prend contact avec la chaussée elle doit donc lui offrir des conditions convenables de sécurité et de confort compatibles avec la classe et le niveau de service de l'itinéraire considéré.

Différentes techniques sont disponibles pour réaliser cette couche de roulement. On peut utiliser pour le revêtement routier, les enrobés (béton bitumineux et grave bitumineux), des enduits superficiels....

La technique des enduits superficiels est économiquement compétitive par rapport aux autres types de revêtement routier. Toutes fois, sa réussite, plus encore que celle des autres revêtements, est très dépendante d'un véritable savoir – faire, tant dans sa conception que dans sa réalisation. Les enduits superficiels constituent souvent une solution avantageuse sur le plan technique mais aussi, et surtout sur le plan économique.

Ils sont généralement moins grands consommateurs d'énergie, plus étanches, plus rugueux et plus économiques que les enrobés.

Dans de nombreux pays en développement, les enduits superficiels constituent la quasi-totalité des couches de roulement. Ce qui justifie toute l'attention qui doit leur être accordée.

Par ailleurs, face à la multitude des dosages proposés par les bureaux d'études et de contrôles

dans l'exécution des revêtements en enduits superficiels, peu de travaux de recherches ont été menés sur la question des formulations et les paramètres influençant la qualité des enduits superficiels. Aussi, a-t-on voulu pousser la réflexion en nous basant sur les études réalisées au sein du LNBTP.

L'objectif général de l'étude consiste à déterminer une formule d'enduit superficiel à la construction de la route.

Les objectifs spécifiques visés sont les suivants :

- Etudier les paramètres influençant la qualité des enduits superficiels
- Proposer des formulations en fonction de la granulométrie
- Faire des recommandations sur la réalisation des enduits superficiels.

Pour les besoins de ce travail, il a été question dans un premier temps, le suivi du projet d'exécution des travaux d'aménagement et de bitumage de l'Avenue de la Liberté à Ouagadougou, une recherche documentaire. Dans un second temps, les essais sur les constituants des enduits superficiels afin de permettre une analyse objective de l'expérience.

Le présent mémoire est structuré comme suit :

- ✓ La présentation du cadre de l'étude
- ✓ Généralités sur les enduits superficiels
- ✓ Etudes des paramètres influençant la qualité des enduits superficiels
- ✓ Analyse des dosages pratiqués dans le cadre des travaux des voies annexes de l'avenue de la Liberté : Cas de la Rue El HADJ Yacouba FOFANA
- ✓ Recommandations sur la formulation des enduits superficiels.
- ✓ Recommandations sur l'exécution des enduits superficiels.
- ✓ Annexes

CHAPITRE I : PRESENTATION DU CADRE DE L'ETUDE

I.1. Présentation de la structure d'accueil

Le Laboratoire National du Bâtiment et des Travaux Publics (LNBTP) a été créé par décret n°68-223/PRES/LP/TP du 13 septembre 1968 sous forme d'établissement public. Il a été transformé par décret n° 94-420/PRES/MICM/MTPHU du 23 Novembre 1994, en Société d'Etat (S.E.) avec un capital porté de 100 à 318 millions FCFA. Son siège social est à Ouagadougou. La société jouit d'une autonomie financière et est placée sous la tutelle :

- Technique du Ministère des Infrastructures et du Désenclavement ;
- Financière du Ministère de l'Economie et des Finances ;
- De gestion du Ministère du Commerce, de la Promotion de l'Entreprise et de l'Artisanat.

Le LNBTP a pour missions :

- La réalisation d'études, de contrôle des travaux routiers et des ouvrages de génie civil

et d'expertises en appui au secteur de production du bâtiment et des travaux publics ;

- La recherche dans le domaine du génie civil.

A ce titre, il assure les prestations ci-après :

- Les études de sols et fondations ;
- Les études et contrôles géotechniques ;
- Les expertises en matière de géotechnique dans le domaine des routes, aéroports, bâtiments, ouvrages d'art et barrages ;
- Les contrôles de la qualité des matériaux de construction ;
- Les contrôles techniques en vue de la garantie décennale ;
- Les contrôles des équipements.

I.2 Le projet d'étude

I.2.1 Description du Projet

Nos travaux de recherche portent sur le projet d'exécution des travaux d'aménagement et de bitumage de l'avenue de la liberté (appellation ancienne Avenue 56) et ses rues annexes à Ouagadougou. La longueur totale de la voie avenue de la liberté est de 4.27 kilomètre et est

définie comme suit :

- Début du tronçon : Embranchement avec l'avenue du Larlé NABA ABGA (secteur 10) ;
- Fin du tronçon : Embranchement avec l'avenue du président THOMAS SANKARA (secteur 12).

Les rues annexes sont les rues principales débouchant sur l'avenue de la liberté et les rues servant de déviation pour l'exécution des travaux de l'avenue de la liberté.

Ces rues ont une longueur totale de 2.259 kilomètres et se définissent comme suit :

- Rue LARLE NABA= 150 mètres ;

Rue LARLE NABA (suite)= 100 mètres ;

- Rue Gerard CONGO= 237 mètre ;
 - Rue Shell Sankariaré = 224 mètres ;
 - Rue Conombo = 224 mètres ;
 - Rue DIMDOLOBSOM =223 mètres ;
 - Rue El Hadj Yacouba FOFANA = 375 mètres ;
 - Rue Didié N.TIENDREBEOGO = 276 mètre ;
 - Rue Didié N.TIENDREBEOGO (suite) = 100 mètre ;
 - Rue Bila Charles KABORE = 350 mètre.
- ✓ Les travaux sont exécutés par l'entreprise Africaine des Travaux Publics (ATP)
 - ✓ Le Bureau d'étude des consultants chargés du contrôle et de la surveillance des travaux est assuré par le Bureau d'Etude d'Ingénierie d'Organisation en Génie Civil , Transport , Aménagement Hydraulique (GTAH).
 - ✓ Le Maitre d'ouvrage /Maitre d'ouvrage délégué est représenté par la Direction des Ouvrages d'Art (DGOA).
 - ✓ Le laboratoire de chantier de la mission de contrôle et de l'Administration est également le Laboratoire national de Bâtiment et des Travaux publics.

Les travaux comprennent :

a) Les travaux de voiries

- Tous les travaux préparatoires = démolition d'ouvrages en béton ou en maçonnerie,

purge, etc.

- Les terrassements généraux = déblais, remblais,...
- La réalisation des couches de forme, fondation et de base pour les chaussées.
- Les travaux de revêtement de la chaussée de l'avenue de la liberté en béton bitumineux ;
- Les travaux de revêtement des chaussées des rues annexes en enduit superficiel bicouche.
- Les travaux de revêtement des accotements en enduit superficiel monocouche ;
- Les travaux de signalisation horizontale et verticale ;
- Les réservations ou déplacements des réseaux d'eau, d'électricité et de téléphone.

b) Les travaux d'assainissement :

- Les travaux de terrassement et de construction de caniveaux ;
- Les travaux de terrassement et de construction de dalots en béton armé pour les traversés de chaussée.
- La fourniture et la pose de dallettes en béton armé et de bordures ;
- Le curage de caniveaux et dalots existants.

c) Les autres prestations à exécuter :

- Levés topographiques ;
- Recherche et exploitation des diverses carrières de matériaux nécessaires à la réalisation de la chaussée (graveleux latéritique, roche compacte, sable,...
- Transports des divers matériaux et fournitures

I.2.2 Partie du projet en relation avec le thème de recherche

Les travaux de revêtement des chaussées des rues annexes en enduit superficiel bicouche à trait avec notre thème de recherche. Nous nous sommes intéressés sur cette partie tout en gardant l'œil sur les autres parties aussi. Les matériaux utilisés pour cette couche de roulement sont :

 Les liants Hydrocarbonés :

- Le bitume fluidifié ou cut-back de classe 0/1 pour l'imprégnation.
- Le bitume pur de classe 60/70 pour l'enduit superficiel.

 Les granulats :

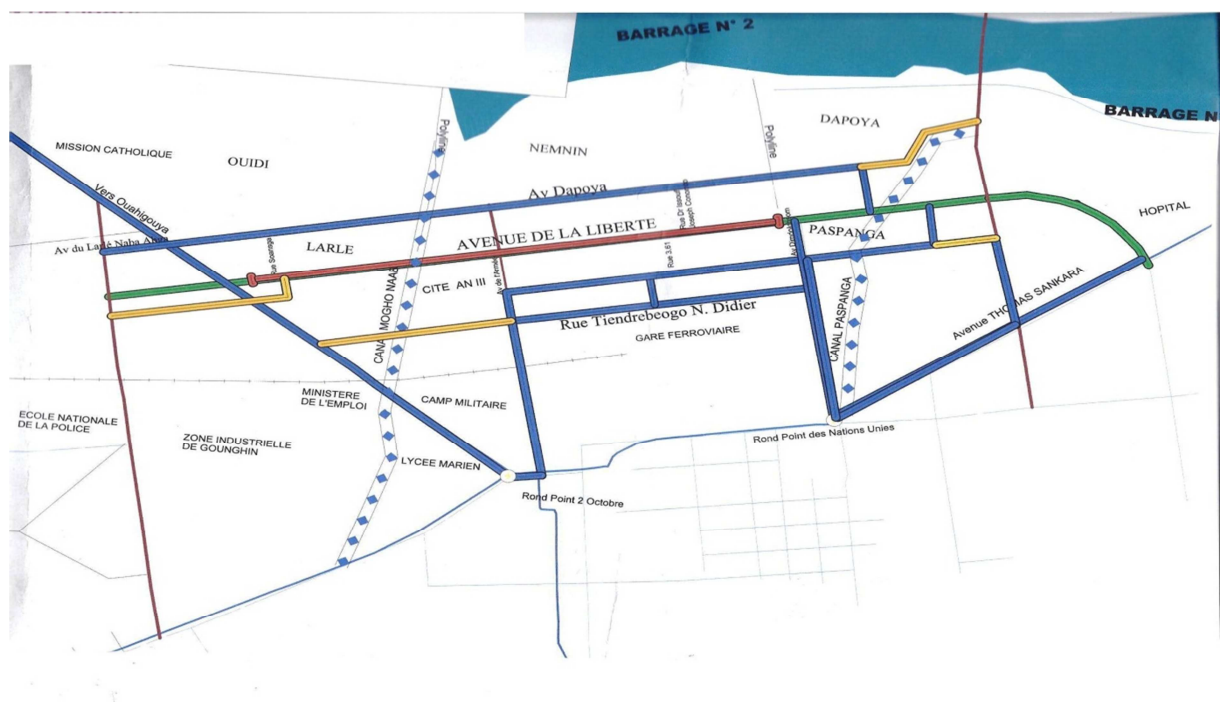
- Le concassé de granite de classe 10/14 pour la première couche.

- Le concassé de granite de classe 6/10 pour la deuxième couche.

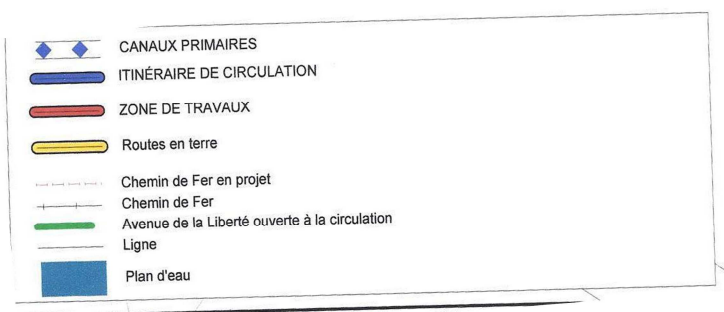
1.2.3 Localisation de la zone du projet

Le projet est situé dans la région du centre. La région est constituée d'une seule province, le Kadiogo et a pour capitale Ouagadougou. Elle avait une population de 1480000 habitants en 2006. Cette région représente un fort taux de croissance annuel.

Le tronçon concerné se situe au centre de Ouagadougou, il débute sur l'avenue de Larlé NABA ABGA (secteur 10) et prend sur l'avenue du président THOMAS SANKARA (secteur 12).



Légende



Plan de localisation de la zone de projet

CHAPITRE II : LES ENDUITS SUPERFICIELS

II.1 Généralités

L'enduit superficiel est une couche de roulement constituée par la superposition alternée d'une (ou plusieurs) couche (s) de liant hydrocarboné et d'une (ou plusieurs) couche (s) de gravillons. IL est largement répandu aujourd'hui sur le réseau routier. Il présente en effet des avantages certains qui à condition de le rendre suffisamment fiable à l'exécution et de lui assurer un niveau de qualité satisfaisant , il mérite d'être conservé ou de lui redonner une place « à part entière » dans l'éventail des techniques routières. Parmi ces avantages citons simplement :

- L'amélioration de la rugosité et la diminution sensible des projections d'eau à grande vitesse, qualité de premier plan compte tenu de la proportion et de la gravité des accidents intervenant sur chaussées mouillées.
- L'amélioration de l'étanchéité de surface qui procure une protection à crue du corps de chaussée. Toutes ces qualités techniques qui viennent s'ajouter à celles que constituent la rapidité d'exécution et un cout relativement modeste par rapport aux autres couches de roulement.

II.2. Rôles des enduits superficiels

Bien formulé et mis en œuvre, l'enduit superficiel doit assurer deux fonctions principales qui sont :

La fonction rugosité et drainabilité.

Lorsqu'on parle de rugosité d'un revêtement, il faut distinguer :

- La microrugosité résultant de la texture de la roche dont sont issus les granulats ;
- La macrorugosité résultant des petites dénivellations de la surface occasionnées par la juxtaposition des granulats de formes et de grosseurs irrégulières.

La drainabilité est une conséquence de la fonction précédente de rugosité. En effet, sur une chaussée à macrorugosité élevée, l'eau est drainée par les nombreux canaux inter granulaires et évacuée vers les rives.

La fonction d'étanchéité

Il est fondamental pour la pérennité des chaussées que les couches inférieures soient strictement à l'abri des eaux de ruissèlement. Lorsque le revêtement est perméable ou fissuré cette condition n'est plus remplie et on assiste alors à une désorganisation lente. Le liant de l'enduit superficiel, répandu uniformément à la surface de la chaussée, participe au colmatage des fissures et au rétablissement de l'étanchéité initiale

II.3. Les constituants

II.3.1 Les granulats (le concassé de granite)

Le granulat est naturellement une des composantes essentielles des enduits superficiels, d'une part, parce qu'il représente 90% au moins de l'enduit et d'autre part, parce qu'il conditionne sa réussite, sa durabilité et sa qualité.

Nous savons que l'insuffisance de certains granulats (la propreté par exemple) est presque toujours à l'origine des échecs dans le domaine des enduits.

Il est donc particulièrement intéressant d'analyser avec soins les granulats.

Au Burkina Faso c'est le concassé de granite qui est utilisé pour les revêtements en enduit superficiel.

II.3.2 Les liants hydrocarbonés

Les produits de base utilisés pour la fabrication des liants pour enduits superficiels, sont soit des bitumes soit des goudrons.

Parmi des principaux liants nous pouvons citer :

- Les goudrons purs : En raison de leur trop grande susceptibilité et de leur vieillissement rapide, les goudrons purs sont pratiquement abandonnés sauf dans le cas où se pose un problème de bonne adhésivité en présence d'eau.
- Les bitumes fluidifiés : Ils sont obtenus par incorporation au bitume de produits pétroliers légers. Cette addition se fait presque exclusivement en raffinerie.
- Les bitumes fluxés : obtenus par addition d'huile de houille provenant de la distillation des goudrons bruts aux bitumes routiers. Leur viscosité se définit par l'essai de pseudo

viscosité.

- Les bitumes purs : ce genre de liant ne contient pas de solvant.
- Les émulsions de bitume ou le bitume de base est un bitume pur de classe différente qui peut être fluxé ou fluidifié. La teneur en bitume pur de ces émulsions varie de 50 à 69%.
- Les bitumes composés tels que le bitume-goudron qui est obtenu par un goudron fluide mélangé à du bitume brai et d'huiles. Pour atteindre des viscosités équivalentes à celle des bitumes fluxés ; Les dosages de goudrons doivent être élevés (environ 40%).

II.3.3 Les dopes

Les dopes sont des produits complexes qui modifient les conditions d'équilibre des constituants granulats, liants, eau. Ils favorisent, le mouillage des granulats par les liants et s'opposent ultérieurement à la rupture de cette liaison. Ils sont utilisés en très faible dosage, mais ils sont assez coûteux.

CHAPITRE III : ETUDE DES PARAMETRES INFLUENCANT LA QUALITE DES ENDUITS SUPERFICIELS

III.1 La dureté de la roche (Los Angeles- Micro Deval)

La dureté est définie par les essais Los Angeles et Micro Deval. Compte tenu de leur position à la surface de la chaussée, en contact direct des pneumatiques et les intempéries, toutes les qualités mécaniques des granulats rentrent en ligne de compte. Ainsi la nécessité d'obtenir des enduits superficiels de plus en performants sous trafic lourd favorise la recherche des granulats plus durables.

Des divergences apparaissent sur les seuils de trafic correspondant au nombre de poids lourds par jour et par sens de circulation les maxima admis pour Los Angeles varient de 20 à 40%. Entre ces deux extrêmes, il y a des spécifications qui varient de 25 à 30 pour nombreux pays.

Le seuil de 30 qui permet d'accepter les granulats concassés (pour ce niveau de trafic) semble raisonnable. Une tolérance à 35 est recommandée dans le souci d'être réaliste et de ne pas écarter systématiquement les solutions techniques et économiques envisageables dans certains cas.

Pour ce projet, le cahier des clauses techniques particulières donne un coefficient Los Angeles inférieur ou égale à 30.

Les valeurs des essais Los Angeles et Micro-Deval MDE pour les granulats destinés à la fabrication des enduits superficiels, en fonction des différentes classes de trafic sont données au **tableau 1**

Trafics (PL/J) Essais	T1	T2	T3	T4	T5
	100 à 300	300 à 1000	1000 à 3000	3000 à 6000	6000 à 12000
LA	≤25	≤20	≤15	≤15	≤15
MDE	≤20	≤15	≤10	≤10	≤10

III.2 La forme des granulats (coefficient d'aplatissement)

La forme des granulats est appréciée par la grosseur G et l'épaisseur E . La forme est considérée comme satisfaisante lorsque le rapport G/E est inférieur à 1.58. Le terme G est donné par le tamis à maille carrée E par la barre parallèle. Après cette vérification l'essai doit être pratiqué afin de déterminer le coefficient d'aplatissement qui permet de caractériser les mauvaises et bonnes formes des granulats.

Le coefficient d'aplatissement permet aussi de fixer les seuils d'acceptation des granulats en fonction de niveau trafic. Car la forme et la propreté des granulats revêtent une importance primordiale ; elles conditionnent en effet le collage des granulats par le liant et le dosage ainsi que la bonne tenue des granulats.

A titre indicatif, le **tableau 2** présente les seuils d'acceptations des granulats en fonction de leur forme et du niveau de trafic pour différents pays (extrait du livre AIPC, page 40)

Traffic (PL/J)	T1	T2	T3	T4	T5
Essais	100 à 300	300 à 1000	1000 à 30000	3000 à 6000	6000 à 12000
France	< 25	< 20	<20	<15	<10
Niger	< 20	< 20	-	-	-
Maroc	<25	< 25	<25	<20	<20
Tunisie	<10	< 10	<10	< 10	-
Cote d'Ivoire	<20	< 15	<15	< 15	<15

III.3 Propreté des granulats

La propreté est le pourcentage de fines (< 0.5 mm) contenu dans et sur les granulats et 0.5 % pour les fines enrobant les granulats. Celui doit toujours être inférieur à 1% pour les fines contenues dans les granulats. Il faut distinguer les fines de concassage ($< 80\mu\text{m}$) qui sont inertes, et les fines argileuses actives qui s'opposent au couple liants granulats.

Si les conditions de propreté ne sont pas suffisantes, il faudra procéder soit à un dépoussiérage à sec, soit à un lavage.

En fait, les échecs liés à la pollution des granulats ne dépendent pas du trafic. Lorsque les éléments fins s'interposent entre les liants et les granulats, un rejet des granulats est observé dans les jours qui suivent la réalisation, même pour les faibles trafics. Dans ces conditions, il convient d'accorder le même soin à la propreté des granulats quelle que soit l'importance de la route.

III.4 Classement du bitume

Le bitume utilisé dans les enduits superficiels peut être un bitume pur, fluidifié, fluxé, du bitume-goudron ou du goudron. Ces différents liants sont classés conformément aux normes expérimentales de l'AFNOR : Selon leur pénétrabilité, leur point de ramollissement, leur densité, leur viscosité ... Par rapport à ces classements le bitume doit être choisi en fonction des paramètres suivants : le niveau de trafic, l'état du support et les conditions météorologiques locales (la climatologie). Actuellement disponible pour convenir à l'usage routier le liant hydrocarboné doit présenter certaines propriétés physiques et en particulier :

- Résister aux contraintes de traction, de cisaillement et de compression, éviter la susceptibilité thermique c'est-à-dire qu'il ne devient plus rigide par temps froids, plus mou par temps chaud ;
- Avoir une bonne adhésivité. C'est une caractéristique de l'ensemble liant-granat ;
- Résister aux vieillissements sous l'influence de l'oxygène de l'air en particulier.

Il est vivement recommandé d'identifier le liant prêt pour l'exécution de la couche de roulement, afin de vérifier sa densité et en particulier sa classe.

Le respect de la classe du liant choisi est primordial pour la réussite de l'enduit superficiel.

Les classes et les températures de répandage selon les normes Françaises sont données dans le **tableau 3** (source : NF T65001)

Liant	Température de répandage
Bitumes purs	
25/50	155°C±2°C
50/70	150°C±2°C
70/100	140°C±2°C
180/200	145°C±2°C
Bitumes fluidifiés	

400/600	125°C±5°C
800/1400	140°C±5°C
Bitumes fluxés	
400/600	130°C±5°C
800/1600	140°C±5°C
1600/3200	150°C±5°C
Bitumes – goudrons	
400/600	125°C±5°C
800/1600	140°C±5°C
Goudrons	
Goudrons	125°C±5°C

III.5 Adhésivité bitume-granulats :

L'adhésivité liant-granulats est déterminée par la possibilité de mouillage des granulats par le Liant et par la résistance au désenrobage de l'ensemble en présence d'eau. Dans ces conditions, la technologie des problèmes d'adhésion et d'adhésivité doit prendre en compte deux facteurs :

- La création du couple liants-granulats ;
- Sa solidité dans le temps et ce que les granulats soient secs ou humides. Lorsque les granulats sont secs, le mouillage par le liant ne présente pas de difficulté dans la mesure où la propreté est satisfaisante ; on assiste au phénomène d'adhésion mécanique ou adhésion globale qui s'apprécie au moyen de l'essai normalisé dit « essai de plaque vialit ».

Lorsque les granulats sont humides ce qui parfois est le cas au moment de leur emploi. Il convient de s'assurer que le liant peut les mouiller :

C'est l'adhésivité active. L'essai de plaque vialit, pratiqué sur des granulats d'humidité connue, permet d'évaluer cette adhésivité.

Si en présence d'eau, le mouillage des granulats par le liant ne peut se réaliser ou s'il y a lieu de craindre une séparation ultérieure du couple, il convient de modifier dès le départ, les propriétés superficielles des granulats en interposant au couple un agent spécial d'adhésivité

communément appelé « dope ».

En effet lorsque les granulats sont secs et bien propres, l'adhésivité liant-granulats est pratiquement, assurée. Pour obtenir l'adhésion mécanique, il suffit de chauffer les granulats humides dans un sécheur classique à 120°C ou 130°C, leur température d'utilisation se situant autour de 70°C. Le passage de matériaux dans le sécheur libère tous les éléments fins qui adhèrent à, leur surface et, suivant la nature de la roche, peut provoquer des éclats de dimensions variables. Ils convient donc d'être particulièrement vigilant sur le dépoussiérage à réaliser au cours de cette opération pour éviter les accumulations de fines à l'épandage et pour la protection du personnel.

III.6 La qualité de la mise en œuvre (respect des dosages)

La qualité finale d'un enduit dépend bien sûr de celle de ses constituants mais également de la régularisation du répandage des liants et des granulats.

Ces dosages doivent respecter exclusivement les instructions contenues dans le CCTP. Les différentes opérations comme :

- Les contrôles préalables sur le matériel et le personnel ;
- La préparation de la chaussée d'enduisage (le balayage)
- Le répandage du liant ;
- Le répandage des granulats ;
- Le répandage éventuel de dopes ;
- Le compactage de la mosaïque ;
- Le ramassage du rejet ;

Doivent retenir l'attention du maître d'œuvre dans le déroulement du chantier pour une bonne mise en œuvre, afin d'éviter le ressuage qui est un phénomène plus fréquent au niveau des enduits superficiels.

III.7 Les effets du temps et du climat

La couche de roulement subit des agressions répétées qui proviennent de différentes sources :

- Le temps : Le bitume vieillit au contact du soleil, de l'air et de l'eau ;
- Le climat : Les liaisons bitumes-granulats sont très sensibles à l'eau et aux sels de déverglaçage.

Le vieillissement des couches de roulement trouve son origine dans l'action d'agents qui sont pour la plupart liés au climat :

- L'eau rend fragile les liaisons entre les bitumes et les granulats, en diminuant les facultés d'adhésivité passive du bitume ; elle contribue donc au desenrobage et à leur destruction à plus ou moins long terme ;
- La lumière intervient par ses rayons ultraviolets favorisant l'oxydation du bitume au contact de l'air et influençant de ce fait la vitesse du vieillissement du bitume.
- La température influe sur les propriétés mécaniques.

Dans les pays froids, les variations de la température peuvent même conduire à fissurer les couches de roulement. Dans les pays chauds la température peut provoquer le ressuage due à un surdosage en liant au moment du répandage.

- Les agents chimiques et, en particulier, les sels de déverglaçage agissent aussi sur les enduits superficiels.

III.8 Les effets du trafic

Ces effets peuvent se traduire par les dégradations de type : l'usure, le fluage et la rupture par fatigue. Par conséquent les caractéristiques des granulats, les catégories de liants, le choix de la structure doivent prendre en compte la classe du trafic.

A titre indicatif les catégories de trafic se trouvent dans le **tableau 4** (source: cours de géotechnique routière).

Catégorie de trafic proposé	FORMULE D'EXPRESSION DU TRAFIC	
	1	2
	Nombre journalier de véhicules (Veh./j)	Nombre cumulé de poids lourds (PL)
T1	$100 \leq T < 300$	$1 \times 10^5 \leq T < 5 \times 10^5$
T2	$300 \leq T < 1000$	$5 \times 10^5 \leq T < 5 \times 10^6$
T3	$1000 \leq T < 3000$	$1.5 \times 10^6 \leq T < 4 \times 10^6$
T4	$3000 \leq T < 6000$	$4 \times 10^6 \leq T < 1 \times 10^7$
T5	$6000 \leq T < 12000$	$1 \times 10^7 \leq T < 2 \times 10^7$

CHAPITRE IV: ANALYSE DES DOSAGES PRATIQUES DANS LE CADRE DES TRAVAUX DES VOIES ANNEXES DE L'AVENUE DE LA LIBERTE : mise en œuvre de la rue El Hadj Yacouba FOFANA.

IV.1 Prélèvement des matériaux

Lors de la mise en œuvre du revêtement de la rue El Hadji Yacouba FOFANA, notre équipe a procédé à des prélèvements des granulats(concassé de granite de classe 6/10 et 10/14) environ quarante kilogrammes (40kg) pour chaque classe et des liants hydrocarbonés (bitume fluidifié pour imprégnation de la classe 0/1 et le bitume pur pour l'enduit superficiel de la classe 60/70 environ aussi deux litres(2 L) pour chaque classe de bitume. Ces prélèvements ont pour but le contrôle de qualité pour les matériaux servant à la réalisation de l'enduit superficiel sur cette voie.

Il ressort du cahier des Clauses techniques Particulière (CCTP) que les matériaux ou constituants doivent répondre aux caractéristiques suivantes résumée dans le tableau.

A titre indicatif les caractéristiques des matériaux selon le CCTP se trouvent dans le **tableau 5**

Matériaux	Nature des essais	Résultats exigés
Le bitume pur	Pénétrabilité à 25°C, 100g, 5s (NF T 66- 004)	60-70
	Point de Ramollissement bille et anneau (NF T66*008)	43-56
	Densité relative à 25°C au pycnomètre	1.00 à 1.10
Bitume fluidifié de la classe 0/1	Pseudo-viscosité mesuré au viscosimètre (NF T) : - D'orifice 4 mm à 25 °c (s) - D'orifice 10 mm à 25 °c (s) - D'orifice 10 mm à 40°C (s)	<30
	Densité relative à 25 °c - Au pycnomètre (NF T 66-00)	0.90 à 1.02
Granite concassé	Propreté	<2%

	Coefficient d'aplatissement	<20
	Los Angeles	<30%
	Micro- Deval	<15%
Adhésivité	A. Globale	>80%
	A. Active	>90%

IV.2 Essai d'Identification des liants hydrocarbonés

IV.2.1 Essai d'identification du bitume pur

▪ Pénétrabilité à 25 °c ,100g, 5s –NF T 66*06)

L'essai de pénétrabilité a pour but de déterminer la classe du bitume qui sera utilisée pour le revêtement.

La pénétrabilité est la profondeur à laquelle pénètre une aiguille normalisée dans un échantillon de bitume dans des conditions de charge, de température et de temps normalisés.

Cet essai a donné une moyenne de 51,83 :

Les feuilles d'essais en annexes et les résultats de pénétrabilité à 25 °c, 100g, 5s (NF T 66-004) dans le **tableau 6**

PENETRABILITE à 25 °c, 100g, 5s (NF T 66-004)				
Coupelle A		Coupelle B		Moyenne
Essai 1	51	Essai 1	52	51,83
Essai 2	52	Essai 2	52	
Essai 3	52	Essai 3	52	
Etendue (<3)	1	Etendue (<3)	0	

▪ Essai point de ramollissement bille et anneau (NF T 66-008).

L'essai consiste à déterminer le point de ramollissement ou le degré de chute des billes.

L'essai a donné une moyenne de 48,25.

Les résultats du point de ramollissement bille et anneau (NF T 66-008) sont dans le **tableau 7**

POINT DE RAMOLLISSEMENT BILLE ET ANNEAU (NF T 66-008)													
Heure (mm)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Température (°c)	0	5	1 0	1 5	20	25	3 0	35	40	45	50	55	60
Température bain (°c)	0	5	1 0	1 5	20	25.5	3 0	35	40	45	48/4 8.5		
Ecart max (°C)	-	± 0.5	± 0. 5	± 0. 5	± 1.0	± 1.0	± 1. 0	± 1.0	± 1.0	± 1.0	± 1.0	± 1. 0	± 1. 0
Température (°c) Bille Anneau (°C)	A =	48	B =		48. 5	Etendue = (<1°C)		0.5		Moyenne = (°c)		48,25	

▪ **Densité relative à 25 °c-Méthode au pycnomètre (NF T66-007).**

La densité du bitume s'obtient par la formule suivante :

$$d = \frac{P3 - P1}{(P2 - P1) - (P4 - P3)}$$

P1 : Poids du pycnomètre à vide ;

P2 : Poids du pycnomètre rempli d'eau à 25 °c ;

P3 : Poids du pycnomètre rempli à moitié de bitume ;

P4 : poids du pycnomètre rempli du mélange non miscible d'eau et bitume dans des proportions du volume du pycnomètre.

Cet essai a donné une moyenne de 1.023.

Les résultats de densité relative à 25°C méthode au pycnomètre (NF T 66-007) dans le **tableau 8**

DENSITE RELATIVE à 25°C METHODE AU PYCNOMETRE (NF T 66-007)		
N° Pycnomètre	GG37	GG1
P1 = Masse (Pycnomètre)	28.531	28.927
P2 = Masse (Pycnomètre)	51.295	51.392
P3 = Masse (Pycnomètre)	41.283	41.278
P4 = Masse (Pycnomètre)	51.593	51.688
Densité relative = $\frac{P3-P1}{(P2-P1)-(P4-P3)}$	1.023	1.024
Moyenne	1.023	

4.2.2 Les essais sur le bitume fluidifié ou cut back

- **Essai de viscosité**

L'essai de viscosité a pour but d'appréhender les facilités de mise en œuvre d'une émulsion de bitume sur la couche de base. Il consiste à déterminer le temps d'écoulement du cut-back à une température de 25°C à travers un orifice de 4 mm. Pour cet essai la moyenne est de 1.13 mn à l'orifice 4 mm à 25°C. Ce cut back est trop visqueux (< 30s)

- **Essai de densité au pycnomètre**

Il faut noter que les densités du bitume pur, du cut- back et du pétrole se déterminent par la même formule. L'essai pour ce cut – back donne une moyenne 0.950.

IV.3 Les essais d'identification et de résistance aux chocs du granite concassé de classe 6/10 et 10/14

- **L'analyse granulométrique :**

L'analyse granulométrique est un essai qui consiste à étudier la granulométrie du granulat, c'est -à- dire la distribution des grains suivant leur dimension en déterminant par pesée l'importance relative des classes de grains de dimension bien définies. Elle se fait par tamisage pour la fraction de granulat dont le diamètre des grains est supérieur à 0.080 mm et par sédimentométrie pour la fraction des sols dont le diamètre des grains est inférieur à 0.08 mm.

Pour ce projet l'analyse granulométrique s'est limitée au tamisage.

Les résultats de l'analyse granulométrique par tamisage sont reportés sur un diagramme semi-logarithmique appelé courbe granulométrique.

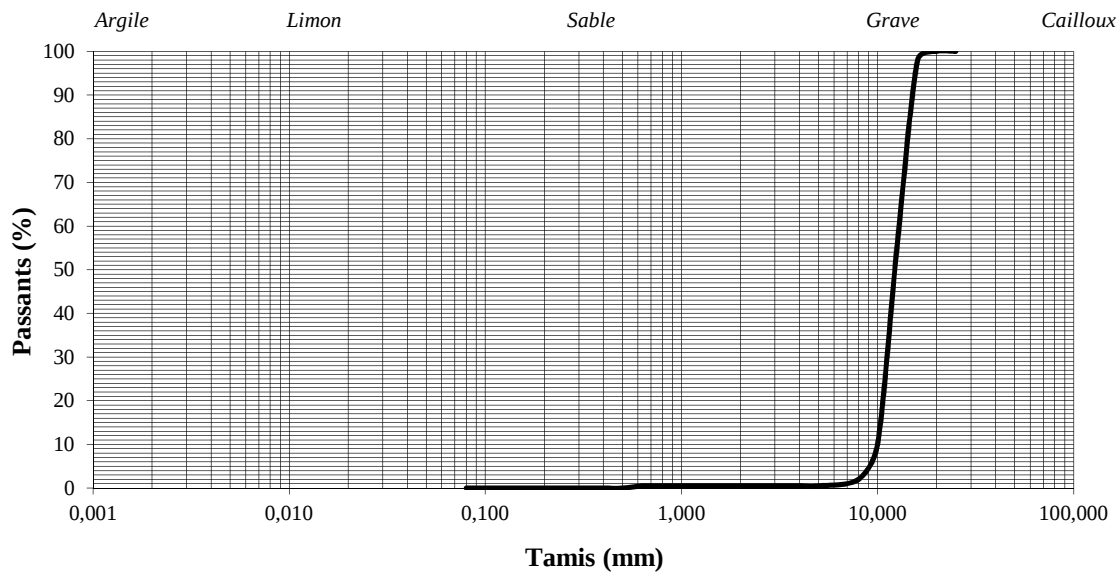
On peut apprécier la qualité de la granulométrie du granulat par deux coefficients :

- Le coefficient d'uniformité ou de HAZEN : $C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$ qui caractérise l'étalement de la granulométrie ;
- Le coefficient de courbure : $C_c = \frac{(d_{60})^2}{d_{10} \times d_{30}}$
- Suivant la forme granulométrique et la valeur des deux coefficients, on dira que la granulométrie est étalée ou serrée, continue, bien graduée ou mal graduée

Résultats de l'analyse granulométrique du concassé 10/14, voir **tableau 9**

Tamis (mm)	100	80	63	50	40	31.5	25	20	16	12.5	10
Module	51	50	49	48	47	46	45	44	43	42	41
Passant(%)							100.0	97.0	56.0	11.5	2.0
Tamis (mm)	8	6.30	5	4	3.15	2.50	2	1.60	1.25	1	0.80
Module	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30
Passant(%)	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Tamis (mm)	0.6	0.50	0.40	0.31	0.25	0.20	0.16	0.12	0.10	0.08	
Module	30	0	0	5	0	0	0	5	0	0	
Module	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	
Passant(%)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	

Courbe d'analyse granulométrique : concassé 10/14



• **Mesure de coefficient d'aplatissement**

Le coefficient d'aplatissement caractérise la forme du granulat à partir de sa plus grande dimension et de son épaisseur. L'essai consiste à effectuer un double tamisage selon la norme française NF P18-561 :

- Tamisage par voie sèche sur tamis à mailles carrées pour la détermination des classes granulaires du matériau à travers l'échantillon représentatif ;
- Tamisage des différentes classes granulaires sur grilles à fentes parallèles normalisées.

L'aplatissement global A est calculé à partir de la formule :

$$A = 100 \times \frac{\sum Me}{\sum Mg}$$

Avec $\sum Me$ = masse totale des passants au tamis grille à fente et

$\sum Mg$: La masse totale du refus ou tamis à mailles carrées.

Les résultats obtenus sur les concassés sont :

- Pour la classe 6/10 : 9.71%

- Pour la classe 10/14 : 5.57%

Les résultats dans le **tableau 10** pour la classe 10/14

Masse de l'échantillon soumis à essai ($200(\text{mm}) < M(\text{g}) < 600\text{D}$)				5337
Masse du refus au tamis de 4 mm- $M_o(\text{g})$				5324
Tamisage sur tamis à maille carrées		Tamisage sur grilles à fentes		Coefficient d'aplatissements 100 (M_e/M_g)
Classes granulaires (mm)	Masse de la classe granulaire	Ecartement des grilles E (mm)	Masse du passant M_e (g)	
63/80		40		
50/63		31.5		
40/50		25		
31.5/40		20		
25/31.5		16		
20/25	9	12.5	9	100
16/20	109	10	5	04.59
12.5/16	2158	8	104	04.82
10/12.5	2285	6.3	137	05.99
8/10	654	5	35	05.35
6.3/8	79	4	5	06.33
5/6.3	18	3.15	1	05.55
4/5	2	2.5	0	00.00
$M = \sum M_g$; M ne doit pas s'écarter de M_o de plus de 2%	5314	$\sum M_e$	296	
Coefficient d'aplatissements global $A = 100(\sum M_e/M)$				05.57

▪ Essai de propreté superficielle

La propreté superficielle est le coefficient pondéral de particules inférieures à 0.5 mm contenues dans un échantillon de matériau. Il s'agit donc, pour ce qui est du principe de l'essai, de séparer par lavage sur tamis de 0.5 mm les particules inférieures à cette dimension. La norme de référence est la norme française NF P18-591.

Pour l'expression des résultats, on calcule d'abord la masse sèche de l'échantillon soumis à l'essai M_s à partir de la formule suivante :

$M_s(g) = M_h \times \frac{M_{s1}}{M_{h1}}$. Ensuite, on calcule la masse sèche m des éléments inférieurs à 0.5 mm par la formule :

$$m(g) = M_s - m'$$

La propreté superficielle P est donnée par la relation : $P = 100 \times \frac{m}{M_s}$

M_{1h} : le premier échantillon préparé;

M_h : le deuxième échantillon préparé ;

M_{1s} : la masse sèche du premier échantillon sèche à l'étuve.

Les résultats des essais sont de 0.29 % pour la classe 6/10 et 0.21 % pour la classe 10/14.

Les résultats dans le **tableau 11** (classe 10/14)

Masse M de l'échantillon soumis à l'essai 200D (mm) < $M(g)$ < 600D(mm) D = dimension maximal des éléments	5678
Masse $M_{n1}(g)$ du premier échantillon	640
Masse $M_h(g)$ du deuxième échantillon	5038
Masse $M_{1s}(g)$ premier échantillon	640
Calcul de la masse sèche $M_s(g)$ de l'échantillon soumis à l'essai de propreté $M_s(g) = M_h (M_{1s}/M_{1h})$	5038
la masse sèche du refus m' séché et tamisé	5027

Calcul de masse sèche Ms (g) de l'élément inférieur à 0.5 mm (ou à 1.6 mm pour les ballasts) : $m(g) = M_s - m'$	11
$P = 100 (m/M_s)$	0.21%

▪ Los Angeles :

Le but de cet essai est de mesurer la résistance à la fragmentation par chocs du concassé de granite.

L'essai a consisté à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1.63 mm produite par fragmentation, en soumettant le matériau à des chocs de boulets à l'intérieur d'un cylindre en rotation.

Le résultat de los Angeles est exprimé en pourcentage par la formule suivante : $LA = \frac{A-B}{A} \times 100$

A : La masse du matériau de la classe granulaire choisi pour l'exécution de l'essai.

B : la masse du matériau soumis au choc, tamisé au tamis de 1.63 mm lavé, étuvé puis pesé.

Les essais ont donné un coefficient Los Angeles = 39.6% pour la classe 10/14 et 45.3% pour la classe 6/10.

Les résultats de l'essai los Angeles (classe 10/14 et 6/10) se trouvent dans le **tableau 12**

Classe granulaire du matériau :	Concassé 10/14	Concassé 6/10
Classe granulaire choisie	10/14	6.3
Poids matériaux avant essai (g)(A) :	5000g	5000g
Poids du refus au tamis 33 (1.63mm)(g)(B)	3020g	2734
Coefficient micro-Deval : $100 \times \frac{A-B}{A} =$	40%	45.3%

Les los Angeles sont élevées par rapport aux prescriptions (< 30%)

▪ Micro-Deval :

L'essai Micro-Deval permet de mesurer la résistance à l'usure par attrition d'un granulat. Une prise d'essai de 500g, lavée et séchée, de la fraction de la classe granulaire choisie (10/14 et 6/10), est soumise à un cycle d'usure, en présence d'eau, par contact avec 5kg de billes d'acier

à l'intérieur d'un cylindre en rotation. Le degré d'usure est apprécié par détermination de la proportion d'éléments fins, inférieurs à 1.63 mm générés au cours de l'essai :

Le coefficient Micro-Deval est obtenu par la formule suivante : $MDE = 100 \times \frac{A-B}{A}$

A: poids du matériau de la classe granulaire choisie pour l'exécution de l'essai (poids du matériau avant l'essai).

B : poids du matériau subit aux chocs tamisé au tamis de 1.63 mm, lavé et étuvé.

Les résultats des essais donnent 18% pour la classe 6/10 et 10.2 % pour la classe 10/14.

Les résultats dans le **tableau 13** pour la classe 10/14 et 6/10

Classe granulaire du matériau :	Concassé 10/14	Concassé 6/10
Classe granulaire choisie	10/14	6/10
Poids matériaux avant essai (g)(A) :	500g	5000g
Poids du refus au tamis 33 (1.63mm)(g)(B)	449g	273g
Coefficient micro-Deval : $100 \times \frac{A-B}{A} =$	10%	18%

IV.4 Essai d'adhésivité à la plaque Vialit des liants anhydres

L'essai s'applique pour les enduits superficiels d'usure, à la détermination de l'adhésivité globale, de l'adhésivité active entre les liants et les granulats et de la température de mouillabilité.

Il permet aussi d'estimer :

- La résistance aux chocs à toute température ;
- La solidité des liaisons liants – granulats à basse température ;
- L'efficacité des dopes d'adhésivité.

Le principe de l'essai

Le liant anhydre est rependu en un film tel que (liant avant répandage n'ayant subi aucune stabilisation ou vieillissement).

Sur une plaque métallique. 50 granulats 10/14, ou 100 granulats 6/10 sont placés sur le film

de liant (le bitume pur) puis cylindrés. La plaque est retournée sur un support à trois pointes, une bille d'acier tombe trois fois sur la plaque. La valeur de l'adhésivité est donnée par le pourcentage de granulats tachés par le liant (collés ou non). Qui se détache de la plaque.

Les résultats des essais donnent 100% pour les deux (2) classes granulaires (10/14 et 6/10) en adhésivité globale.

92% pour 6/10 et 91.33% pour 10/14 en adhésivité active.

Les résultats de l'essai de l'adhésivité active pour la classe 10/14 sont notés dans le **tableau 14**

Essai Paramètre	1	2	3	Moyenne
Nombre de gravillons décollés Non tachés par le liant : a	3	5	5	4.33
Nombre de gravillons décollés Tachés par le liant : b	47	45	45	45.67
Nombre de gravillons collés : c	0	0	0	0
Nombre de gravillons collés Non tachés par le liant : d	0	0	0	0
B+c-d	47	45	45	45.67
A+b+c	50	50	50	50
Adhesivité = $\frac{b+c-d}{Aa+b+c}$	94%	90%	90%	91.33%

IV.5 Analyse des résultats

- **Analyse des résultats sur les liants hydrocarbonés**

Le résumé des résultats sur les liants hydrocarbonés, dans le **tableau 15**

Matériaux	Nature des essais	Résultats des essais	Résultats exigés
Le bitume pur	Pénétrabilité à 25°C	51.83	60 à 70
	Point de ramollissement bille et anneau	48.25	43 à 56

	Densité relative à 25 °c au pycnomètre	1.023	1.00 à 1.10
Bitume fluidifié de la classe 0/1	Pseudo – viscosité	1.13	<30
	Densité relative à 25 °c au pycnomètre	0.95	0.90 à 1.02

Pour le bitume pur l'ensemble de ces trois essais nous donne un bitume de classe ou de grade 50/70 qui correspond à la classe 60/70 comme résultat exigé dans le CCTP. Ce bitume peut être accepté pour la réalisation du projet.

Le bitume fluidifié correspond également à la classe 0/1 et peut être utilisé pour l'imprégnation de la chaussée.

- **Analyse des résultats sur le concassé de granite**
- ✓ **Analyse des caractéristiques de fabrication**

L'analyse granulométriques réalisée a permis de confirmer les classes des matériaux. On peut aussi remarquer que les matériaux ne contiennent pas de fines et sont propres. Leurs coefficients de propreté sont : 0.29% pour la classe 10/14 et 0.21% pour la classe 6/10. Toutes ces valeurs sont inférieures à 2%.

Les coefficients d'uniformité et de courbure sont donnés dans le tableau ci-dessous.

Les résultats des coefficients d'uniformité et de courbure des concassés de granite 10/14 et 6/10 est donné dans le **tableau 16**

	Concassé 10/14	Concassé 6/10
D10	10	5.20
D30	12	7.30
D60	14	8.50
coefficients d'uniformité	1.4	1.63
coefficients de courbure	1.63	1.90

Les coefficients d'uniformité sont de faibles valeurs et les coefficients de courbures sont compris entre 1 et 3. Cela permet de conclure qu'il s'agit de matériaux à granulométrie

uniforme.

Les coefficients d'aplatissement dont les valeurs sont 9.75% et 5.57% % respectivement pour la classe 6/10 et 10/14 montrent que les matériaux contiennent moins de 20% d'éléments plats. Les matériaux sont donc constitués d'éléments à forme favorable, c'est-à-dire cubique ou sphérique.

✓ **Analyse des caractéristiques intrinsèques des concassés de granite**

Rappelons que pour être utilisé en enduit superficiel bicouche, il est recommandé un coefficient de Los Angeles inférieur à 30 et un coefficient de Micro Deval inférieur à 15. Les concassés de granite ne répondent pas à ces critères de résistance.

• **Adhésivité liant – granulats**

Les essais ont donné 100% pour les deux classes en adhésivité globale et 92% pour les deux classes en adhésivité active. Nous pouvons dire que lorsqu'il n'y a pas eu une présence d'eau dans ces granulats, l'adhésivité peut être respectée. Dans le cas contraire, c'est-à-dire en présence d'eau, il convient d'interposer au couple liant granulats, un agent spécial d'adhésivité communément appelé dope pour avoir une bonne adhésivité.

Les essais ont donnés 100% pour les deux classes en adhésivité globale. Nous pouvons dire qu'il y a une parfaites adhésivité lorsque les granulats sont secs.

Tableau de synthèse des résultats obtenus et ceux de CCTP

Différents essais réalisés	Liants			Granulats : concassé de granite				Adhésivité	
	Classe du bitume	Bitume fluidifié		Los Angeles	Micro-Deval	Propriété	Aplatissement	Active	Globale
		Densité relative	Pseudo-viscosité						
Résultats des essais	50/70	0.950	1.13	45%	18%	0.29	9.61%	92%	100%
Prescription du CCTP	60/70	0.900 : 1.020	<30	<30%	<15%	<2%	<20%	>90	>80

Observations

Les différents essais effectués sur le bitume pur donnent une classe de 50/70. Cette classe correspond effectivement à 60/70 du résultat exigé dans le CCTP, qui est une ancienne appellation.

Le bitume fluidifié peut être utilisé, mais l'entreprise doit revoir la viscosité. Ce Cut back est trop visqueux (1.13mn) et cela peut occasionner une perte économique pour l'entreprise.

Les essais los Angeles et Micro Deval sont élevés par rapport aux résultats exigés. Ce qui traduit la mauvaise qualité de la roche qui peut avoir pour conséquence une dégradation prématurée du revêtement.

Les autres essais sur les granulats sont bons et respectent les prescriptions du CCTP.

L'adhésivité entre le liant et les granulats est parfaite et respecte également les résultats exigés.

CHAPITRE V : RECOMMANDATIONS SUR LA FORMULATION DES ENDUITS SUPERFICIELS

V.1 Le choix de la structure de l'enduit

Le maître d'œuvre concepteur a le choix entre les structures suivantes :

- La structure monocouche : Qui comporte une couche de liant et une couche de granulats. Les granulats les plus courants correspondent aux classes granulaires 10/14 ou 6/10 ;
- La structure monocouche à double gravillonnage : qui comporte une couche de liant et deux couches de granulats dont la formation correspond aux classes granulaires discontinues 10/14 et 4/6.
- La structure bicouche : qui comporte deux couches de liant et de granulats alternées. Elle correspond à des classes granulaires discontinues 10/14 et 4/6 pour les chaussées à trafic fort ou moyen et 6/10 – 2/4 pour les chaussées à faible trafic (pour être utilisées).
- La structure tricouche : qui comporte trois couches de liant et de granulats alternées.

Le choix de la structure dépend essentiellement des paramètres liés au trafic : l'agressivité de la circulation (la fréquentation de poids lourds), de l'état et de la nature des supports, du confort souhaité.

Nous donnons ici des indications générales pour un choix d'une structure :

-  L'enduit monocouche sera choisi si la circulation est faible (trafic T1 ou T2), le granulat sera de la classe 6/10 généralement et exceptionnellement 10/14 en raison de l'inconfort qu'il engendre notamment dans le domaine du bruit (pour les occupants du véhicule et les riverains). On peut utiliser dans les zones urbanisées, un granulat 4/6 qui donne un enduit moins résistant, mais qui reste soumis à des contraintes beaucoup moins fortes en raison de la limitation de vitesse.

L'enduit monocouche utilise un liant chaud, l'émulsion de bitume est dans ce cas déconseillée à cause du délai de remise en service.

-  La formule bicouche convient parfaitement sur les chaussées à trafic faible et moyen

(T1 et T3). Elle est réalisée avec tous les liants y compris l'émulsion de bitume.

- ✚ La monocouche double gravillonnage est la synthèse des deux précédentes formules qui comporte une seule couche de liant dont le dosage est légèrement supérieur à celui du monocouche, et deux couches de granulats de granularité discontinue.

Pour les cas particuliers évoqués ci-dessus :

- Les chaussées ressuanes et lisses, pour lesquelles on peut adopter de préférence une granulométrie comportant de gros éléments ;
- Les voies urbaines, ou le calibre des granulats pourra être choisi plus petit pour confort et le bruit ;
- Les chaussées dont la surface est particulièrement hétérogène doivent recevoir, même pour un faible trafic, un enduit bicouche.

V.2 Le choix du liant

Le choix du liant est fonction, comme la structure de l'enduit, du niveau de l'état du support et de plus de la période de l'année à laquelle l'exécution est envisageable, compte tenu des conditions météorologiques locales qui sont en principe connues.

En règle générale, on retiendra un liant d'autant plus visqueux que la circulation est importante : une viscosité de l'ordre de 500 seconde STV à 25°C convient aux voies de trafic T1 et T2 ce qui correspond aux bitumes fluidifiées 400/600 et aux émulsions à 65% de bitume pur.

Le choix du liant est également conditionné par la climatologie qui impose un liant d'autant plus visqueux qu'il peut faire chaud et sec.

La pseudoviscosité des liants est mesurée au moyen d'un appareil appelé viscosimètre STV (Standard Tar Viscosimètre).

V.3 Le choix des granulats

Le choix des granulats débute par une étude des possibilités offertes par les carrières et les caractéristiques physiques et chimiques des roches, qui doivent donner un matériau compatible avec les exigences de la directive du Laboratoire National de bâtiment et des Travaux Publics (LNBTP) pour la réalisation des enduits superficiels.

Les exigences sont rappelées au chapitre III du document. Pour le Burkina Faso le concassé de granite est utilisé généralement.

V.4 Affinité liant-granulat

Le liant et les granulats ont été choisis séparément. Il s'agit à présent de les « lier » et d'en déduire la formulation la mieux adaptée. Le but rechercher de cette affinité liant-granulat est que, cette liaison doit avoir une adhésivité parfaite, c'est-à-dire ne peut plus être, dissociée. L'essai de plaque vialit permet de contrôler cette adhésivité exigée.

L'amélioration de l'affinité liant – granulat peut être obtenue par l'emploi des dopes d'adhésivité (cas des granulats humides) ou par d'autres méthodes portant sur des traitements particuliers des granulats.

L'emploi des dopes d'adhésivité peut être réalisé :

- Par incorporation au liant, c'est la méthode dite le dopage dans la masse ;
- En interface chaussée- liant ou liant- granulats, c'est le dopage d'interface ;
- Par traitement du granulat.

Il ne faut jamais oublier que si le dopage est souvent indispensable avec l'emploi de bitume fluidifié, recommandé avec un bitume fluxé, il est par contre inutile dans le cas d'une émulsion (l'émulsifiant jouant le rôle d'un dope d'adhésivité).

- Pour le dopage dans la masse du liant, ce dernier est utilisé comme véhicule du dope d'adhésivité. L'opération consiste en un mélange homogène et soigné des deux produits avant utilisation, chaque fois que c'est possible à poste fixe, avec des moyens élaborés. En effet, lorsqu'elle est exécutée directement dans la répandeuse, l'homogénéisation est assez délicate compte tenu de la très faible proportion du dope (0.2 à 0.3% en poids du liant) et ce d'autant plus que le liant est plus visqueux. Le choix de l'agent d'adhésivité doit être fait en tenant compte du maintien de son efficacité en fonction de la température d'utilisation et des conditions de stockage.
- Dans le dopage d'interface, le dope est répandu directement sur la chaussée le plus souvent à l'interface chaussée-liant par pulvérisation avant le répandage du liant, enfin assez rarement aux deux interfaces chaussées – liant puis liant granulats.

Le dosage du dope pur appliqué en interface est du même ordre que celui effectué dans la

masse du liant, c'est-à-dire 2 à 3 grammes par mètre carré.

- Le prétraitement des granulats consiste en un mouillage complet, suivi d'un séchage, par une solution ou une dispersion dans l'eau d'un agent d'adhésivité.

Ce prétraitement a une durée de conservation limitée, c'est pourquoi il est recommandé de ne l'effectuer qu'au moment de la reprise des granulats sur l'aire de stockage. Le chauffage des granulats peut également constituer un excellent prétraitement.

V.5 Les dosage en liant et en granulats en fonction de la granulométrie à employer et aussi de la structure de l'enduit

Dans la phase de formulation, le concepteur qui a déjà fait le choix de la ou des structures d'enduits superficiels qui vont être mises en place, va se fixer, pour chacune des structures, une correspondance de dosage entre le liant et les granulats. Les tableaux (ou abaques) nous donnent déjà c'est-à-dire en fonction de la granularité et la structure d'enduit, les quantités des liants et granulats en kilogramme, en gramme ou en litre pour un mètre carré (1 m²) sur la chaussée.

Des cas particuliers pourraient être rencontrés au cours de la mise en œuvre et feront l'objet des ajustements.

Ces ajustements s'effectuent à partir de la formulation moyenne établie en laboratoire pour la structure choisie. Au moment de l'exécution des travaux le maître d'œuvre est généralement amené à procéder à ces ajustements pour tenir compte :*

- Des caractéristiques propres à chacune des chaussées à traiter : nature et état du support, longueur et nombre de voies, virages, carrefours....
- Des conditions particulières de circulation sur chacune des voies ;
- Des conditions climatiques du moment.

En ce qui concerne les liants :

- Les caractéristiques des supports peuvent être à l'origine d'un sous-dosage allant jusqu'à 20% de la valeur théorique pour des chaussées particulièrement grasses et d'un surdosage allant également jusqu'à 20% pour des chaussées particulièrement sèches et rugueuse ou fissurées ;

- Les conditions de circulation sont susceptibles de nécessiter un sous-dosage de 10 à 15% sur des voies supportant les poids lourds à proximité des zones de freinages ou dans les rampes importantes. Par contre, un surdosage de 10 à 15 % est à prévoir sur les voies de circulation rapides des chaussées à 4 voies ou sur la voie centrale des chaussées à 3 voies.

De même, une chaussée peu circulée (moins de 1000 v/jr) nécessite un surdosage de l'ordre de 20% pour assurer un bon sertissage des granulats sans craindre un sur dosage ;

- Les conditions climatiques qui sont, soit des conditions météorologiques de saison ou de circonstance, soit des conditions de situation ou d'exposition ont une influence sur le sertissage des granulats. Une exposition chaude est un facteur favorable à une réduction du dosage, une exposition froide nécessite un surdosage. Les variations sont de l'ordre de 10 % en plus ou en moins.

Les granulats influent également sur le dosage en liant par leur nature physico-chimique, mais surtout par la valeur réelle de leur épaisseur, qui peut varier par exemple pour un 10/14 de 7 à 10 mm entraînant un ajustement de dosage en liant de l'ordre de 15%.

Toutes les corrections de dosage fournissent en se cumulant un pourcentage d'écart parfois très important par rapport au dosage moyen. Mais le cumul des correctifs élémentaires ne doit pas s'écarter de plus de 20% des dosages moyens établis à la formulation de l'enduit. Au-delà, il faut procéder à un traitement préalable de la chaussée ou à la limite, changer de technique pour le cas particulier considéré.

En ce qui concerne les granulats, l'ajustement de dosage ne doit se faire que par référence à leur pouvoir couvrant, c'est-à-dire à la quantité en litre de granulats nécessaire pour recouvrir sans intervalle ni superposition un mètre carré (1 m^2) de chaussée.

En reprenant l'exemple précédent, un granulat de dimension commerciale 10/14 ayant une épaisseur moyenne de 8 mm, nécessitera 8 litres au mètre carré, une épaisseur moyenne de 11mm nécessitera 11 litres au mètre carré pour obtenir le même effet. Comme il est impératif que la mosaïque soit complète, le réglage du répandage pourra être basé sur les chiffres précédents augmentés, par exemple, d'un demi-litre pour éviter les sous dosages.

Voici un exemple de tableau (**tableau17**) indiquant pour chaque type de structure des

formulations moyennes.

Enduit monocouche							
Liants et granulats	Bitume fluidifié (kg/m ²)	Bitume fluxé (kg/m ²)		Bitume-goudron (kg/m ²)	Emulsion (1) (kg/m ²)		Granulats (litre/m ²)
Granularité	400/600 800/1400	600/800	1600/2400	1200/2000	65%	69%	
4/9	1.000	0.950	0.950	0.900	1.200	1.100	6 à 7
6/10	1.200	1.150	1.150	1.200	1.500	1.400	8 à 9
10/14	-	1400	1.300	1.450	-	1.850	11.5 à 13
Enduit monocouche double gravillonnage							
Liants Et granulats	Bitume fluidifié 1600/2400 (kg/m ²)	Bitume goudron 2000 (kg/m ²)	Emulsion (2) à 59% (kg/m ²)		Granulats (litre/m ²)		
Granularité							
10/14 - 4/6.....	1.350	1.450	1.900		10/14- 8 à 9		
6/10 – 10/4...	1.100	1.150	1.600		486 – 4 à 5		
					6/10 – 6 à 7		
					2/4 – 3 à 4		

Résultats de l'enduit bicouche – Formulation moyenne dans le **tableau 18**

TYPE A								
Liants et granulats	Bitume fluidifié (kg/m ²)		Bitume fluxé (kg/m ²)		Bitume- goudron (kg/m ²)		Granulats (litre/m ²)	
	10/14 4/6	6/10 2/4	10/14 4/6	6/10 2/4	10/14 4/6	10/14 2/4	10/14 4/6	6/10 2/4
1 ^{ere} couche	1.100	1.000	0.950	1.100	1.000	1.000	9 à 11	7 à 9
2 ^{eme} couche	1.000	0.800	0.950	0.850	0.900	0.8000	6 à 8	5 à 6
Total :	2.100	1.800	2.000	1.800	2.000	1.800		
TYPE B								
Liants et granulats					Granulat (litre/m ²)			
	A 65 % (kg /m ²)		A 69 % (kg /m ²)					
	10/14 4/6	6/10 2/4	10/14 4/6	6/10 2/4	10/14 4/6	10/14 2/4		
1 ^{ere} couche	1.100	1.000	1.000	0.900	10 à 11		8 à 9	
2 ^{eme} couche	1.500	1.300	1.300	1.200	6 à 7		5 à 6	
Total :	2.600	2.300	2.300	2.100				

CHAPITRE VI : RECOMMANDATIONS SUR LES EXECUTIONS DES ENDUITS SUPERFICIELS

VI.1 Les opérations préliminaires liées à la préparation du support et aux approvisionnements

Avant de passer à l'exécution proprement dite des enduisages, il est indispensable que le maitre d'œuvre s'assure des points suivants :

La préparation des chaussées devant recevoir l'enduit superficiel :

La préparation des chaussées doit tendre à rendre leur surface aussi homogène que possible (a qualité de la préparation nécessite pour un large part la qualité de l'enduit superficiel).

Ainsi, après le balayage il y a humidification, il est recommandé de réaliser au préalable une imprégnation au bitume fluidifié (0/1 ou 10/15) à un dosage qui sera déterminé par des essais, mais qui devrait être de l'ordre de 1kg/m^2 .

En ce qui concerne les enduits superficiels réalisés dans le cadre de l'entretien, la préparation du support a surtout pour but de conférer à ce dernier une homogénéité convenable.

Le contrôle des matériels

Il convient tout d'abord, de s'assurer de la présence de tous les matériels nécessaires à la réalisation de l'enduit. Il sera ensuite procédé à la l'examen détaillé des organes de chaque engin.

La répandeuse du liant : Vérifier plus particulièrement les organes qui conditionnent la régularité des dosages.

Le gravillonneur : vérifier la planéité du fond de benne, le fonctionnement des secteurs crantés, l'entraînement des rouleaux...

Le compacteur : Vérifier l'état et la pression des pneumatiques.

Après l'inspection visuelle, il faut obligatoirement effectuer des planches d'essai afin de vérifier les dosages en fonctions des différents paramètres, soit pour les répanduses : la vitesse d'avancement, la température des liants, la pression dans la rampe, la largeur de ré pandage et la hauteur de la rampe.

Le dosage moyen au mètre carré de liants et la régularité transversale seront contrôlés, il est intéressant de disposer de matériels, il est possible de faire fabriquer des petits plateaux métalliques qui peuvent permettre également de contrôler les dosages.

Les dosages en granulats doivent aussi être contrôlés et surtout la régularité du gravillonnage.

Le contrôle des constituants :

- **Les granulats**

Il s'agit de vérifier si les concassés de granite sont bien conformes aux spécifications du marché.

Dans la mesure du possible, les concassés de granite seront tout d'abord contrôlés en carrière, afin de prévoir, intervenir plus rapidement pour corriger plus rapidement d'éventuelles dérives. Les contrôles complémentaires, en particulier de granularité et de propreté, seront effectués sur les stocks.

Il convient également de contrôler les divers paramètres qui influent sur la qualité des granulats comme :

- Propreté des aires de stockage ;
- Accessibilité aux stocks sans que les chargeurs ne circulent sur ces derniers ;
- Présence, si nécessaire, de dispositif de dépoussiérage. Enfin, il est souhaitable de disposer de la totalité des granulats avant le démarrage du chantier.

- **Les liants**

Comme pour les granulats, il faut vérifier que les liants satisfont aux spécifications.

Mais, ici aussi, il est souhaitable de s'intéresser à tout ce qui contribue à la qualité des produits. Par exemple, les modalités de stockage des liants seront examinées en détail (moyens de réchauffage, adéquation des capacités, sécurité).

Si les liants sont élaborés sur le chantier, il faudra vérifier que les matériels comportent bien les systèmes de contrôle qui permettent de s'assurer de la constance des produits. Cela concerne en particulier les unités de fluidification des bitumes et les unités de fabrication des émulsions.

Ces derniers types de contrôle s'appuient encore sur le concept qu'il est plus constructif de

contrôler en amont les paramètres qui conditionnent la qualité d'un produit, plutôt que de constater à posteriori que ce produit n'est pas satisfaisant.

VI.2 Les contrôles d'exécutions

Les contrôles d'exécutions sont effectués tant par l'entreprise que par le laboratoire de chantier de la mission de contrôle et de l'administration qui doit, avant tout début d'exécution, s'assurer que tout le matériel et le personnel nécessaires sont présents sur le chantier.

Il doit, en outre, vérifier avec le chef de chantier de l'entreprise que le matériel est en bon état et que les réglages préliminaires ont été effectués. A ce moment seulement débute le contrôle permanent du chantier qui doit comporter :

- Pour l'entreprise, des contrôles généraux ;
 - Pour le Laboratoire de chantier de la mission de contrôle et de l'administration, des contrôles in situ permettant d'apprécier la régularité des dosages en liant et en granulats.
-
- Les contrôles généraux : le chef de chantier veille à l'organisation générale du travail de ses équipes, aux conditions climatiques, aux distances relatives entre le répandage du liant et celui des granulats, entre ce dernier et le compactage.
 - Les contrôles in situ par le laboratoire de chantier de la mission de contrôle et de l'administration ont le double but de vérifier la permanence des réglages des matériels et de s'assurer de l'obtention des dosages et compactages recherchés. Les contrôles de dosages sont effectués en cours de chantier par des prélèvements inopinés. Les méthodes de prélèvement et de contrôle des dosages en liants se fait par pesées des quantités de liants recueillis dans de petits plateaux métalliques (plaque de 20/25) disposés sur la chaussée, lors du passage de l'épandeur de liant. Le contrôle du dosage en granulats peut également s'effectuer par peser des quantités de granulats recueillis dans une boîte parallélépipède de 80cmx25cmx4cm, munie d'un couvercle coulissant et d'une face transparente, d'où apparaît par la lecture directe le volume de granulats recueillis.

Un traitement immédiat est opéré sur les surfaces occupées par les plaques et les caisses

Cette vérification des dosages doit être assurée tous les 300 m.

VI.3 Les résultats

Lorsqu'un enduit superficiel a été bien formulé et qu'il a été exécuté dans de bonnes conditions, le revêtement obtenu doit être, satisfaisant tant du point de vue de l'aspect visuel que du point de vue des caractéristiques mesurées que sont l'imperméabilité et la rugosité.

L'aspect visuel est lié à l'absence de rejet dont la quantité doit être négligeable, de l'ordre de 5 % des quantités répandues.

L'imperméabilité s'apprécie à l'aide d'un paramètre de chantier. Si le revêtement est infiniment imperméable aucun passage d'eau ne doit pouvoir être décelé au bout de quelques minutes.

La rugosité est mesurée par l'essai de profondeur au sable. Les enduits superficiels ont, par leur nature même, une texture grossière et leur profondeur au sable est fréquemment de l'ordre de 2 mm. Elle peut atteindre 3 à 4 mm, selon la granularité utilisée.

Mais un revêtement ne peut être tenu pour réussir qu'après avoir essuyé avec succès un cycle complet de saison, c'est-à-dire ne présente pendant toute cette période aucun des défauts ci-après :

- Rejet immédiat ou différé des granulats ;
- Mosaïque irrégulière ;
- Ressuage du liant ;
- Viscosité des joints longitudinaux et transversaux ;
- Poinçonnement du support.

Après le gravillonnage, il est suivi l'un après l'autre pour le compactage, les compacteurs recommandés pour la structure d'enduit. Afin de conduire au meilleur réarrangement des gravillons sans les fracturer.

Le traitement des joints pour le concassé se fait au balais manuel pour assurer une bonne cohésion des éléments.

Contrôle des dosages pendant l'exécution (1^{ère} couche), voir tableau (**tableau 20**) ci-après :

Avenue de la liberté (Rue 56) : Revêtement bicouche en date du 09/03/2012							
Rue El Hadj Yakouba FOFANA au PF 224							
1 ^{ère} COUCHE							
Température bitume 160°C							
Profil	Position	Dosage (kg/m ²)		Profil	Position	Dosage (kg/m ²)	
		Bitume	Granulats 10/14			Bitume	Granulats 12/18
1	Gauche	900	15.0	1	Droite	1280	14.5
		1000	15.0			1260	14.0
2		1220	22.0	2		1420	15.0
		1320	20.0			1380	13.5
3		960	14.0	3		1320	14.0
		1140	14.0			1340	15.0
4		1300	17.0	4		1300	17.0
		1320	14.0			1320	16.0
5		1260	13.5	5		1300	14.0
		1300	14.0			1300	14.0
6		1460	14.0	6		1340	13.5
		1380	15.0			1320	14.0
7		1320	13.0	7		1300	14.0
		1300	15.0			1320	14.0
8		1340	14.0	8		1320	13.5
		1300	14.0			1360	14.0
9		1320	13.0	9		1320	14.0
		1300	14.0			1300	14.0
10		1360	15.0	10		1340	15.0
		1300	14.0			1320	13.0
11		1320	13.5	11		1300	14.0
		1300	14.0			1300	14.0
12		1340	14.0	12		1320	13.5
		1320	14.0			1340	14.0

Nombre de valeurs	24	24	-	24	24
Valeur minimale	900	13	-	1260	13
Valeur maximale	1460	22	-	1420	17
Valeur moyenne	1266	15	-	1322	14
Ecart type estimé (%)	133.9	2.1	-	32.8	0.9
Coefficient de variation	9.5	7.0	-	40.3	16.6

Les résultats de contrôle des dosages pendant l'exécution (2^{ème} couche) se trouvent dans le **tableau 21** :

Avenue de la liberté (Rue 56) : Revêtement bicouche en date du 09/03/2012									
Rue El Hadj Yakouba FOFANA au PF 224									
2 ^{eme} COUCHE									
Température bitume 155°c									
Profil	Position	Dosage (kg/m ²)		Profil	Position	Dosage (kg/m ²)			
		Bitume	Granulats 6/10			Bitume	Granulats 8/12		
1	Gauche	800	12.0	1	Droite	940	15.0		
		1160	11.0			900	14.0		
2		940	10.0	2		1100	12.0		
		900	11.0			1120	11.0		
3		1140	13.0	3		1080	10.0		
		1120	12.0			1100	11.0		
4		1180	13.0	4		1120	12.0		
		1100	11.0			1200	10.0		
5		1120	10.5	5		1100	11.5		
		1140	10.0			1080	10.5		
6		1100	12.0	6		1140	12.0		
		1120	13.0			1100	10.50		
7		Gauche	1140	10.5		7	Droite	1120	11.0
			1120	11.0				1080	11.5

8		1100	11.0	8		1100	10.0
		1120	10.0			1120	10.5
9		1400	10.0	9		1100	11.0
		1160	11.0			1100	10.0
10		1160	10.0	10		1080	11.0
		1120	12.0			1140	10.0
11		1180	13.0	11		1120	13.0
		1120	11.0			1100	10.0
12		1100	10.0	12		1120	12.5
		1120	11.0			1140	11.0
Nombre de valeurs		24	24	-		24	24
Valeur minimale		800	10	-		900	10
Valeur maximale		1400	13	-		1200	15
Valeur moyenne		1108	11	-		1096	11
Ecart type estimé (%)		108.7	1.1	-		60.4	1.3
Coefficient de variation		10.2	10.4	-		18.1	8.7

CONCLUSION

L'enduit superficiel est une technique courante de construction et d'entretien des couches de surface des chaussées dont le prix de revient reste relativement peu élevé par rapport à celui des autres techniques. Ses caractéristiques de rugosité et de drainabilité lui confèrent des qualités appréciables particulièrement par temps de pluie, ou il offre des conditions de sécurité satisfaisantes à l'utilisateur.

Largement répandu sur les chaussées à trafic moyen ou faible, l'enduit superficiel n'a cessé de s'améliorer et gagner peu à peu la chaussée à trafic important, jusqu'aux voies auto routières.

Cependant le maître d'œuvre doit nécessairement se poser les questions sur le trafic, le support, la granulométrie, la densification, le dosage, avant tout chantier.

Le présent projet de fin d'étude a porté sur cette technique de revêtement, les enduits superficiels. L'étude a eu dès le départ comme ambitions d'étudier les paramètres qui peuvent influencer la qualité des enduits superficiels, de revoir leurs formulations et leurs réalisations.

L'étude ayant porté sur un projet réel en l'occurrence le projet d'exécution des travaux d'aménagement et de bitumage de l'avenue de la liberté et ses rues annexes à Ouagadougou, il a fallu faire des essais d'identification de tous les matériaux près à l'emploi pour s'assurer qu'ils satisfassent les conditions du CCTP. Les différents essais ont montré que le bitume pur est de 50/70 et le bitume fluidifié est visqueux. Pour le concassé de granite, les résultats des caractéristiques de fabrication à savoir l'analyse granulométrie, l'essai de propreté, l'essai d'aplatissement sont bons. Par contre les résultats des caractéristiques intrinsèques des concassés de granite à savoir l'essai Los Angeles et l'essai Micro-Deval ne répondent pas aux critères de résistances.

En tout état de cause, d'une façon générale l'enduit superficiel peut couvrir un très large domaine d'emploi pour lequel il est souhaitable que son développement se poursuive.

BIBLIOGRAPHIE

✓ Ouvrages et articles

- [1] P.HERSCHKORN, 1982, couche de roulement (Presse de l'école nationale de pont et chaussé.).
- [2] Centre de recherche routier Bruxelles, 1975, Code de la bonne pratique des enduits superficiels.
- [3] Paul AUTRET et René REQUIRAND, 1989, Les enduits superficiel (synthèse d'expériences international).
- [4] (SETRA LCPC), 1975, Guide de chantier : Réalisation des enduits superficiel.
- [5] CETE de ROUEN – Division Laboratoire de Rouen, 1975, les granulats en technique routière.

Références normatives

- [6] NF P 18-561 (Octobre 1978), « Granulats : mesure du coefficient d'aplatissement »
- [7] NF P 18-591 (Avril 1979), « Détermination de la propreté superficielle »
- [8] NF P 94-056 (Mars 1996), « Analyse granulométrique : Méthode par tamisage à sec après lavage »
- [9] NF T 66-007 (29 octobre 2005) « densité relative à 25°C – Méthode au Pycnomètre
- [10] NF T 66- 004 « Pénétrabilité à 25 °c »
- [11] NF T 66 – 008 « point de ramollissement bille et anneau »

✓ Sites internet

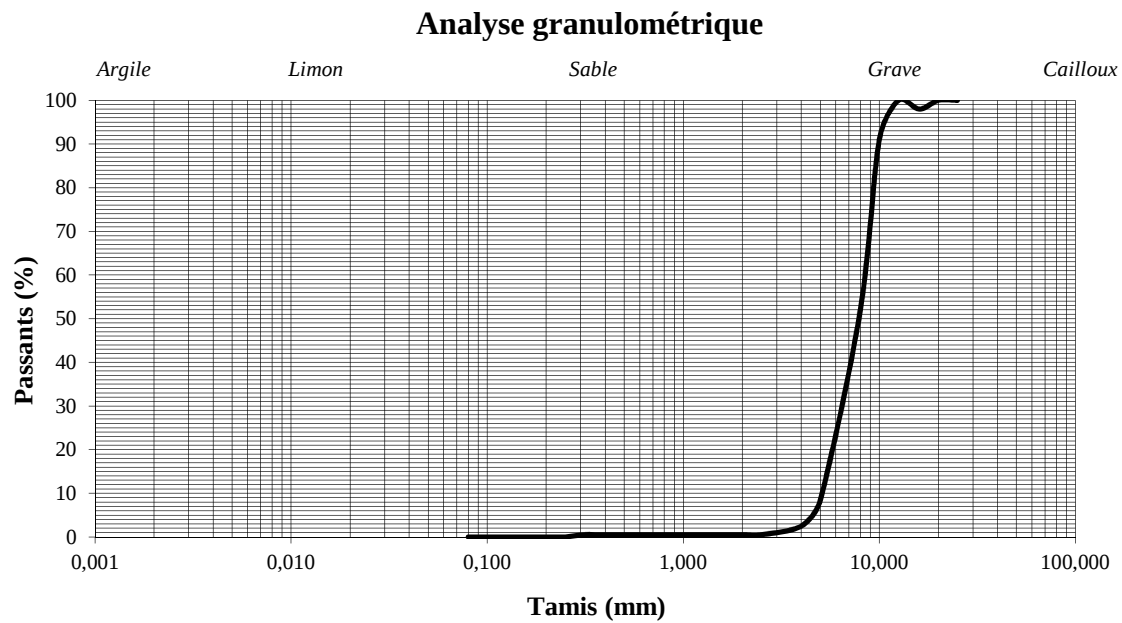
- [12] <http://fr.wikipedia.org/wiki/bitume>
- [13] <http://fr.wikipedia.org/wiki/enduitsuperciciel>

ANNEXES

Annexes 1 : d'analyse granulométrique du matériau (classe 6/10)

Tamis (mm)	100	80	63	50	40	31.5	25	20	16	12.5	10
Module	51	50	49	48	47	46	45	44	43	42	41
Passant(%)										100.0	91.0
Tamis (mm)	8	6.30	5	4	3.15	2.50	2	1.60	1.25	1	0.80
Module	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30
Passant(%)	52.0	24.0	8.5	2.5	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Tamis (mm)	0.630	0.500	0.400	0.315	0.250	0.200	0.160	0.125	0.100	0.080	
Module	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	
Passant(%)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	

Annexes 2 : Courbe d'analyse granulométrique: concassé 6/10



Annexes 3 : Détermination de la propreté superficielle (classe 6/10)

Masse M de l'échantillon soumis à l'essai 200D (mm)<M(g)<600D(mm) D = dimension maximal des éléments	5222
Masse Mn1(g) du premier échantillon	494
Masse Mh(g) du deuxième échantillon	4728
Masse M1s (g) premier échantillon	494
Calcul de la masse sèche Ms(g) de l'échantillon soumis à l'essai de propreté $Ms(g) = Mh (M1s/M1h)$	4728
la masse sèche du refus m' séché et tamisé	4714
Calcul de masse sèche Ms (g) de l'élément inférieur à 0.5 mm (ou à 1.6 mm pour les ballasts) : $m(g) = Ms-m'$	14
$P = 100 (m/Ms)$	0.29%

Annexes 4 : Essai d'adhésivité globale (classe 6/10)

Essai Paramètre	1	2	3	Moyenne
Nombre de gravillons décollés Non tachés par le liant : a	0	0	0	0
Nombre de gravillons décollés Tachés par le liant : b	12	84	33	43
Nombre de gravillons collés : c	88	16	67	57
Nombre de gravillons collés Non tachés par le liant : d	0	0	0	0
B+c-d	100	100	100	100
A+b+c	100	100	100	100
Adhésivité = $\frac{b+c-d}{Aa+b+c}$	100%	100%	100%	100%

Annexes 5: Mesure du coefficient d'aplatissement (classe 6/10)

Masse de l'échantillon soumis à essai ($200(\text{mm}) < M(\text{g}) < 600\text{D}$)				4968
Masse du refus au tamis de 4 mm- $M_o(\text{g})$				4831
Tamisage sur tamis à maille carrées		Tamisage sur grilles à fentes		Coefficient d'aplatissements 100 (M_e/M_g)
Classes granulaires (mm)	Masse de la classe granulaire	Ecartement des grilles E (mm)	Masse du passant M_e (g)	
63/80		40		
50/63		31.5		
40/50		25		
31.5/40		20		
25/31.5		16		
20/25		12.5		
16/20		10		
12.5/16		8		
10/12.5	227	6.3	12	05.28
8/10	1745	5	166	09.51
6.3/8	1536	4	178	11.58
5/6.3	918	3.15	87	09.47
4/5	364	2.5	24	06.59
$M = \sum M_g$; M ne doit pas s'écarter de M_o de plus de 2%	4790	$\sum M_e$	467	
Coefficient d'aplatissements global $A = 100(\sum M_e/M)$				09.75