



## Code de bonne pratique des enduits superficiels



BRRC-PUB-R71\_01

Recommandations

R 71 / 01

Ce code de bonne pratique a été élaboré par le Groupe de Travail APPD.2 "Enduits superficiels" du Centre de Recherches routières.

Composition du Groupe de Travail :

*Président :*

Monsieur Jan Steuperaert Ancien président du CEN TC 227/WG2

*Secrétaires rapporteurs :*

Kris Busschots (SCREG Belgium), Claude De Backer (CRR), Olivier Pilate (CRR)

*Membres :*

Luc Ansay (Gravaubel), Jean Cornet (MET – Routes du Luxembourg), Jean Crochet (MET – Direction des structures routières), Jean-Louis Herpin (Emubel), Stefan Hoogmartens (Hoogmartens Wegenbouw), Erik Keijers (Grizaco), Georges Pondant (Hydrocar), Jean-Marc Vanbelle (Galex), Paul Van Eyck (Provinciale Technische Dienst Limburg), Joseph Vanderkimpen (Administratie Wegen en Verkeer / Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap), Rudy Vicenzutto (Service Technique Provincial du Hainaut)

Nous remercions tout particulièrement pour l'aide qu'ils ont apportée à l'élaboration de ce code de bonne pratique :

Messieurs Jean Legros (Socogetra), J.-C. Ménard (LRPC d'Autun)

Les firmes Acmar, Breining, Rincheval, Secmair

# **Code de bonne pratique des enduits superficiels**

**Recommandations R 71 / 01**

Publié par le Centre de Recherches routières  
Etablissement reconnu par application de l'arrêté-loi du 30 janvier 1947  
Boulevard de la Woluwe, 42 – 1200 Bruxelles

Tous droits de reproduction réservés

# TABLE DES MATIERES

## Préface

<b>1. Généralités</b>	<b>1</b>
1.1 Définition	1
1.2 Buts de l'enduisage	1
1.3 Champ d'application de l'enduisage	1
1.3.1 Types de support	2
1.3.2 Couche de roulement en construction neuve	2
1.3.3 Couches d'entretien	2
1.3.4 Couches destinées à modifier l'aspect ou la couleur du revêtement	2
1.3.5 Sites critiques et/ou déconseillés	2
1.4 Les types d'enduits	3
1.4.1 Les principaux types	3
1.4.1.1 L'enduit monocouche à simple gravillonnage	3
1.4.1.2 L'enduit monocouche à double gravillonnage	4
1.4.1.3 L'enduit bicouche	4
1.4.2 Variantes d'enduits pour usages spécifiques	5
1.4.2.1 L'enduit bicouche inversé	5
1.4.2.2 L'enduit prégravillonné	5
1.4.2.3 L'enduit superficiel à haute performance	5
1.4.2.4 L'enduit coloré	5
1.5 Avantages et inconvénients	8
1.5.1 Avantages	8
1.5.2 Inconvénients	8
<b>2. Matériaux</b>	<b>9</b>
2.1 Liants	9
2.1.1 Généralités	9
2.1.2 Types de liants	10
2.1.2.1 Les émulsions à base de bitume routier	10
2.1.2.2 Les bitumes routiers fluidifiés	10
2.1.2.3 Les liants modifiés	11
2.1.2.4 Les liants résineux	11
2.2 Gravillons	11
2.2.1 Caractéristiques de fabrication	11
2.2.1.1 Calibre des gravillons	11
2.2.1.2 Forme des gravillons	12
2.2.1.3 Propreté des gravillons	12
2.2.2 Caractéristiques intrinsèques	12
2.2.3 Gravillons pré-enrobés	12
2.2.4 Granulats spéciaux	13
2.2.4.1 Granulats colorés	13

2.2.4.2 Bauxites calcinées et autres granulats spéciaux	13
2.2.4.3 Scories	13
<b>3. Projet</b>	<b>14</b>
3.1 Choix à effectuer par l'auteur de projet et par l'entrepreneur	14
3.1.1 Choix à effectuer par l'auteur de projet	14
3.1.2 Choix à effectuer par l'entrepreneur	16
3.2 Choix du type d'enduit	16
3.2.1 L'enduit monocouche	16
3.2.2 L'enduit bicouche	17
3.2.3 L'enduit monocouche à double gravillonnage	17
3.3 Choix du calibre des granulats	18
3.4 Choix du type de liant	18
3.4.1 Généralités	18
3.4.2 Choix entre une émulsion et un bitume fluidifié	19
3.4.2.1 Monocouche à simple gravillonnage	19
3.4.2.2 Bicouches	20
3.4.2.3 Monocouche à double gravillonnage	20
3.4.3 Choix du liant en fonction du trafic et l'époque de réalisation (bitume modifié ou non)	20
3.4.4 Choix de la viscosité initiale du liant	20
3.5 Vérification de la compatibilité liant – granulats : adhésivité	21
3.5.1 Importance de l'adhésivité	21
3.5.2 Moyens pour améliorer l'adhésivité entre le liant et les granulats	22
3.5.2.1 Au niveau du liant	22
3.5.2.2 Au niveau des granulats	23
3.5.2.3 A l'interface liant-granulats	23
3.6 Taux d'épandage du liant et des granulats	24
3.6.1 Règles générales	24
3.6.1.1 Dosage du liant	24
3.6.1.1.1 Comment fixer les taux d'épandage	24
3.6.1.1.2 Principes pour la fixation des taux d'épandage	24
3.6.1.1.3 Expression des taux d'épandage	25
3.6.1.2 Dosage des granulats	25
3.6.2 Enduits monocouches	25
3.6.2.1 Dosage en liant	25
3.6.2.2 Dosage en granulats	25
3.6.2.3 Taux minima	26
3.6.3 Enduits monocouches à double gravillonnage	26
3.6.3.1 Dosage en liant	26
3.6.3.2 Dosage en granulats	26
3.6.3.3 Taux minima	27
3.6.4 Enduits bicouches	27
3.6.4.1 Taux de liant	27
3.6.4.2 Dosage en granulats	27
3.6.4.3 Taux minima	27
3.6.5 Enduits à haute performance (ESHP)	28
3.6.6 Corrections de dosage de liant	28
3.6.6.1 Trafic	28
3.6.6.2 Support (texture, porosité, dureté, état)	28

3.6.6.3 Environnement	29
3.6.6.4 Catégorie du liant	29
3.6.6.5 Epoque de réalisation	29
3.6.6.6 Cumul des coefficients de correction	29
<b>4. Matériel</b>	<b>30</b>
4.1 Epandeuses de liant	30
4.1.1 La citerne	30
4.1.2 La rampe et les becs d'épandage	30
4.1.3 La pompe doseuse	30
4.2 Gravillonneurs	32
4.2.1 Les gravillonneurs portés	32
4.2.1.1 Les gravillonneurs portés à rouleau diffuseur	33
4.2.1.2 Les gravillonneurs portés à rouleau extracteur	36
4.2.2 Les gravillonneurs automoteurs	37
4.3 Les matériels d'épandage simultanés	39
4.4 Compacteurs	41
4.4.1 Les compacteurs à pneumatiques	41
4.4.2 Les cylindres à jantes lisses	41
4.4.3 Les cylindres mixtes pneus-bille	42
4.5 Balayeuses – Aspirateurs	42
4.5.1 Les balayeuses mécaniques	42
4.5.2 Les balayeuses aspiratrices	42
4.6 Autre matériel	42
<b>5. Exécution</b>	<b>43</b>
5.1 Préparation de la chaussée	43
5.1.1 Traitement des zones déformées (problèmes de planéité)	43
5.1.2 Réparation des flaches et nids de poule	43
5.1.3 Traitement de zones poreuses ou fissurées	43
5.1.4 Nettoyage de la chaussée	44
5.1.5 Protection des endroits non enduits	44
5.2 Conditions atmosphériques	44
5.3 Epanchage du liant	45
5.3.1 Température d'épandage	45
5.3.2 Régularité transversale	46
5.3.3 Taux d'épandage - régularité longitudinale	46
5.3.4 Cas particulier de l'enduit bicouche	47
5.4 Epanchage des gravillons	47
5.4.1 Largeur de gravillonnage	47
5.4.2 Timing et cadences	47
5.4.3 Dosage	48
5.4.4 Détails d'exécution	48
5.5 Compactage (ou mise en place de la mosaïque)	51

5.5.1 Règles générales	51
5.5.2 Enduit bicouche	52
5.5.3 Enduit monocouche à double gravillonnage	52
5.5.4 Enduit superficiel à haute performance	52
5.6 Balayer – aspirer	52
5.7 Sécurité	53
5.7.1 Personnel	53
5.7.2 Matériel	53
5.7.3 Organisation générale	53
5.8 Signalisation	53
<b>6. Mise en service</b>	<b>55</b>
6.1 Quand procéder à l'ouverture du trafic ?	55
6.2 Cas particulier des ESHP	55
6.3 Procédure d'ouverture au trafic	55
6.4 Justification des limitations de vitesse	56
6.5 Signalisation	56
<b>7. Contrôle et surveillance</b>	<b>57</b>
7.1 Contrôle avant, pendant et après l'exécution	57
7.2 Méthodes de contrôle sur chantier	58
7.2.1 Taux d'épandage du liant – régularité longitudinale	59
7.2.2 Répartition transversale du liant	60
7.2.3 Taux d'épandage des gravillons	61
7.3 Contrôle du matériel d'épandage du liant au banc d'essai	62
<b>8. Défauts et entretien</b>	<b>63</b>
8.1 Plumage, arrachement, peignage	63
8.1.1 Définitions et mécanismes de la dégradation	63
8.1.1.1 Le plumage	63
8.1.1.2 L'arrachement	65
8.1.1.3 Le peignage	66
8.1.2 Quantification des dégradations	66
8.1.3 Conséquences pour les usagers et pour la pérennité de l'enduit	66
8.1.4 Mesures à prendre	67
8.2 Ressuage	68
8.2.1 Définition	69
8.2.2 Mécanismes de la dégradation	69
8.2.2.1 Le ressuage par remontée du liant de l'enduit	69
8.2.2.2 Le ressuage par enfoncement des pierres de l'enduit dans son support	70

8.2.2.3 Le ressuage par le rejet des pierres de l'enduit	70
8.2.3 Quantification des dégradations	70
8.2.4 Conséquences pour les usagers	71
8.2.5 Mesures à prendre en cas de ressuage	71
8.3 Pelade	72
8.3.1 Définition	73
8.3.2 Mécanisme de la dégradation	73
8.3.3 Quantification des dégradations	73
8.3.4 Conséquences pour les usagers	73
8.3.5 Mesures à prendre en cas de pelade	73
8.4 Autres défauts	74
8.4.1 Définitions et mécanismes de dégradation	74
8.4.1.1 Dégradations résultant de défauts du support tels que	74
8.4.1.2 Dégradations dues à des défauts d'exécution tels que	74
8.4.1.3 Dégradations accidentelles	75
8.4.2 Conséquences pour les usagers et/ou pour la pérennité de l'enduit	75
8.4.3 Mesures à prendre	75
<b>Annexe 1 : Spécifications pour les pierres concassées</b>	<b>77</b>
<b>Liste des figures</b>	<b>79</b>
<b>Liste des tableaux</b>	<b>80</b>
<b>Liste des photos</b>	<b>81</b>
<b>Liste des encadrés</b>	<b>82</b>
<b>Liste des abréviations</b>	<b>83</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>85</b>



## PREFACE

Le précédent code de bonne pratique sur les enduits superficiels a été publié en 1981, à une époque où il n'était pas encore question de liants modifiés, où de nombreux enduits étaient exécutés à l'aide de liants à base de goudron et étaient mis en œuvre par des engins dont le réglage de débit était encore manuel.

Les choses ont depuis lors évolué :

- l'automatisation des systèmes d'épandage garantit une répartition plus homogène des constituants;
- les liants élastomères, grâce à leurs propriétés particulières, étendent les domaines d'application des enduits, notamment vis à vis des contraintes plus sévères de trafic;
- des liants plus soucieux de l'environnement et de la santé des exécutants (émulsions, bitumes fluidifiés aux huiles de pétrole) remplacent pratiquement partout les liants à base de goudron.
- même si leur utilisation reste pour l'instant marginale, il faut signaler l'utilisation de nouveaux matériaux tels les granulats colorés et les scories pour un enduit ordinaire, mais aussi les liants résineux et les bauxites pour les enduits superficiels à haute performance (ESHP);
- le souci de la qualité se traduit par un renforcement des contrôles, notamment volontaires. Il existe actuellement des possibilités de calibrer les équipements d'épandage. Les nouvelles normes européennes contribuent par ailleurs à fournir les outils nécessaires à ces contrôles.

Après un chapitre introductif consacré à la description des divers types d'enduits et de leur champ d'application, le code aborde successivement les thèmes suivants : les matériaux constitutifs de l'enduit, le projet, le matériel, la mise en œuvre et enfin les défauts et leur réparation.

Ce code de bonne pratique s'adresse :

- aux auteurs de projets : il leur permet de choisir le type d'enduit superficiel le plus adéquat en fonction des divers éléments qui constituent l'environnement de la route, le trafic et le support à traiter;
- aux entrepreneurs;
- aux gestionnaires de la voirie;
- au personnel d'exécution et de surveillance à qui est spécialement destiné un aide-mémoire des tâches de contrôle.

Les membres du groupe de travail qui ont élaboré ce document comptent sur votre collaboration pour leur faire part de vos critiques et suggestions qui viendraient se manifester à l'occasion de la mise en application de ce code de bonne pratique des enduits superficiels.

# 1 GENERALITES

Ce premier chapitre débute par la définition d'un enduit et le rappel des buts recherchés par son application. Il décrit ensuite, en fonction du type de support, les champs d'applications possibles de cette technique tant en construction neuve que comme couche d'entretien. Toute technique ayant ses limites, une liste des sites critiques ou déconseillés est dressée.

Les divers types d'enduits sont ensuite présentés. Les monocouche simple gravillonnage, bicouche, monocouche double gravillonnage constituent les variantes principales. Les autres types moins courants, tels le bicouche inversé, le prégravillonné, l'enduit hautes performances et l'enduit coloré sont également présentés. Le code décrit les caractéristiques principales de chacun de ces types et cite leur domaine préférentiel d'emploi.

Ce chapitre se termine par une présentation globale des avantages et inconvénients inhérents aux enduits.

## 1.1. Définition

Un enduit superficiel est un traitement de surface qui consiste à fixer, sur la chaussée à traiter, une mosaïque de gravillons jointifs (épanchés en 1 ou 2 couches monogranulaires) à l'aide d'au moins une couche de liant (bitumineux ou résineux) préalablement épanché.

## 1.2. Buts de l'enduisage

Un enduit superficiel peut avoir pour objectif de:

- imperméabiliser une fondation en empierrement, ou en matériaux liés ou encore un ancien revêtement devenu poreux ou fissuré;
- fixer les gravillons (en phase d'arrachement) de la couche de surface;
- créer ou renouveler une couche de roulement sur une chaussée neuve ou nécessitant un entretien.
- augmenter le coefficient de frottement (CFT) de la chaussée par la création d'une surface très rugueuse drainant efficacement l'eau superficielle;
- améliorer l'aspect de la surface routière, par exemple par recouvrement des réparations locales et/ou des anciens marquages;
- modifier localement la couleur du revêtement.

Les solutions techniques devront tenir compte du but visé pour le choix du type d'enduit, de la nature et du taux de liant, du calibre des gravillons, etc. En pratique cependant, les différentes préoccupations peuvent se superposer, et dans ce cas la technique d'enduisage retenue sera celle du meilleur compromis.

## 1.3. Champ d'application de l'enduisage

La technique de l'enduisage permet de pourvoir d'un revêtement imperméable, mais rugueux et relativement mince (5 à 15 mm d'épaisseur), presque tous les types de chaussées ou de chemins.

La mise en oeuvre d'un enduit est très rapide, ce qui se traduit par des chantiers à haut rendement. Les quantités de matériaux mises en oeuvre étant réduites, le procédé se révèle être une solution économique d'entretien ou de création de revêtements routiers.

Ci-après, des précisions concernant les domaines d'emploi des enduits superficiels.

### **1.3.1. Types de supports**

Une grande variété de supports peuvent être enduits:

- empierrements, fondations liées, empierrements à pénétration;
- anciens enduits;
- tous revêtements hydrocarbonés;
- bétons de ciment, pavages, etc.

### **1.3.2. Couche de roulement en construction neuve**

Les enduits s'utilisent:

- comme parties intégrantes de structures routières, sur béton et asphalte, empierrements, sols stabilisés, éventuellement à base de matériaux locaux ou marginaux; l'enduit servira ici d'étanchéité et de couche d'usure;
- comme couche d'usure, renouvelable, sur sous-couches portantes peu déformables en enrobés bitumineux ou en béton de ciment; dans le cas de routes importantes, la séparation des fonctions des couches est ainsi réalisée: d'une part, une couche d'usure mince, rugueuse, renouvelable et assurant la sécurité de l'utilisateur, d'autre part, des couches portantes assurant la répartition des charges et l'uniformité du profil;
- comme couche de roulement provisoire, sur sous-couches par exemple lors de construction par étapes ou dans un but de protection et de sécurité (imperméabilisation - rugosité) durant l'arrêt des chantiers en hiver.

### **1.3.3. Couches d'entretien**

L'enduit est indiqué sur les revêtements devenant usés, lisses, poreux ou légèrement désagrégés ou fissurés en vue de rénover la surface de roulement et de protéger le corps de la chaussée contre l'eau. Particulièrement pour les chaussées à infrastructure légère, il convient de ne pas attendre l'apparition des dégradations qui nécessiteront des remises en état coûteuses, mais de prévoir l'enduisage en temps opportun grâce à un plan d'entretien préventif (maintenance programmée).

L'amélioration de la rugosité concerne particulièrement les routes à trafic important, pourvues d'une infrastructure excellente mais dont la surface présente quelques problèmes de sécurité à cause d'une rugosité insuffisante. La sélection des matériaux et la technique d'exécution doivent ici être particulièrement soignées.

### **1.3.4. Couches destinées à modifier l'aspect ou la couleur du revêtement**

Lorsque le revêtement existant présente de nombreuses réparations, un enduit superficiel, posé sur toute la surface de la route, permet de rétablir l'esthétique de la chaussée.

Un enduit superficiel permet également de masquer une signalisation horizontale inadéquate.

Grâce à un enduit superficiel, il est également possible de modifier la couleur d'une partie du revêtement en vue notamment d'augmenter la sécurité par une séparation plus visible des espaces réservés aux divers usagers

### **1.3.5. Sites critiques et/ou déconseillés**

- 1) Les supports formés d'un revêtement bitumineux trop mou, suite à un excès de liant ou à un autre vice de composition ne conviennent pas à la pose d'un enduit superficiel. Une circulation même

moyennement lourde aura vite fait d'enfoncer les gravillons de l'enduit dans ce support mou pendant la saison chaude, sur lequel le liant restera en surface laissant une surface « glacée ».

- 2) Les zones où le trafic crée des sollicitations tangentielles très sévères et répétées, telles que les tracés très sinueux, les virages très courts, les carrefours avec embranchements multiples, les zones de freinage avant signaux, les rond-points, les zones de manœuvres, etc. sont à considérer comme des sites critiques. Les véhicules lourds, et notamment les véhicules articulés et les semi-remorques, sont particulièrement nocifs.

Dans ces zones, l'enduit classique (à base de bitume) peut s'avérer être insuffisant: on y observe fréquemment des arrachements de l'enduit, sous forme de traînées étroites mais parfois longues de plusieurs mètres. Dans ces zones critiques, la mise en oeuvre d'un enduit à hautes performances (à base de liant résineux) peut par contre constituer une bonne solution.

## 1.4. Les types d'enduits

### 1.4.1. Les principaux types

Il convient de distinguer trois variantes principales de la technique d'enduisage, chacune d'elles ayant un domaine d'application principal.

#### 1.4.1.1 L'enduit monocouche à simple gravillonnage (figure 1, page 7)

C'est l'enduit le plus traditionnel (plus simplement appelé enduit monocouche); il consiste en l'épandage d'une couche de liant hydrocarboné de caractéristiques appropriées; cet épandage est immédiatement suivi d'un gravillonnage destiné à former une mosaïque jointive, mais monocouche (sans superposition des gravillons), de gravillons calibrés.

L'enduit monocouche peut être caractérisé par sa simplicité et son économie; il constitue la solution la plus indiquée pour la majorité des voies supportant une circulation réduite (cas de nombreuses voiries communales).



Photo CRR 3829/22

Photo 1 - Enduit monocouche calibre 7/10

#### **1.4.1.2. L'enduit monocouche à double gravillonnage** (figure 1, page 7)

Cet enduit se distingue du type précédent par le fait que le gravillonnage s'effectue en deux phases: d'abord une couche de gravillons de calibre moyennement gros, immédiatement suivie d'une couche de gravillons plus fins; la combinaison la plus courante étant le 7/10 mm suivi du 4/7 mm.

La réussite de ce type d'enduit implique que le gravillonnage des gros éléments soit réalisé de façon à obtenir une mosaïque monocouche non jointive, sans aucun chevauchement de pierres, laissant légèrement apparaître le liant entre les gravillons, afin que les petits éléments 4/7 (ou 2/4) puissent venir se caler dans ces interstices et consolider la mosaïque principale.

Ce type d'enduit est essentiellement destiné à créer une rugosité élevée et concerne donc en premier lieu les chaussées à trafic rapide.

#### **1.4.1.3. L'enduit bicouche** (figure 1, page 7)

Ce type d'enduit correspond à la combinaison de deux enduits simples, réalisés successivement et sans intervalle de temps. Dans l'enduit inférieur, la mosaïque n'est pas jointive. Dans les cas les plus courants, le premier enduit est réalisé avec des gravillons 7/10 mm, le second avec du 4/7 mm, le liant étant identique pour les 2 couches. La combinaison 10/14 + 4/7 mm est également utilisée. Pour des routes à plus faible trafic et des bandes d'arrêt d'urgence on peut éventuellement utiliser la combinaison 4/7 + 2/4.

L'enduit bicouche convient particulièrement pour les voiries à trafic élevé et/ou lourd, possédant déjà un revêtement important; il présente une longévité plus grande que l'enduit monocouche et fournit une amélioration sensible de l'imperméabilité des supports moyennement dégradés.



*Photo CRR 3829/11*

**Photo 2 - Enduit bicouche 10/14 + 4/7**

## **1.4.2. Variantes d'enduits pour usages spécifiques**

Aux variantes principales des enduits, viennent s'ajouter quelques variantes secondaires à utiliser pour des applications spécifiques.

### **1.4.2.1 L'enduit bicouche inversé (figure 1, page 7)**

Dans l'enduit bicouche inversé, on prévoit l'application des petits gravillons en première couche et des plus gros en seconde couche. Cette technique, rarement appliquée, convient notamment pour l'enduisage d'anciens pavages.

### **1.4.2.2. L'enduit prégravillonné (figure 1, page 7)**

Si le support est trop hétérogène et qu'il existe donc localement un risque de ressuage, on peut d'abord épandre une couche de gravillons 10/14 ou 7/10, suivie d'une couche de liant et puis d'une deuxième couche de gravillons (4/7 ou 2/4).

### **1.4.2.3. L'enduit superficiel à haute performance (ESHP)**

Dans l'enduit superficiel à haute performance, la technique de mise en oeuvre est similaire à celle de l'enduit monocouche mais avec des gravillons de très grande résistance au polissage et à l'usure (bauxite calcinée) et un liant spécial, garantissant une parfaite adhérence au support, dont le constituant principal est une résine époxy. L'application de ce liant requiert un équipement particulier très élaboré.

Les enduits superficiels à haute performance ont été conçus pour la sécurité routière. Ce besoin se manifeste particulièrement aux endroits sensibles tels que carrefours, feux de signalisation, passages protégés, sorties d'écoles, virages dangereux, etc. De telles zones sont particulièrement sollicitées par les efforts tangentiels que les pneumatiques des véhicules appliquent sur le revêtement lors des freinages, démarrages et autres manœuvres. Elles ont donc tendance à s'user plus rapidement alors qu'au contraire elles devraient présenter une très bonne rugosité et une forte résistance aux efforts tangentiels. C'est pour répondre à ce besoin que sont appliqués les ESHP.

Les ESHP peuvent être appliqués sur tout type de revêtement hydrocarboné fermé et en bon état, moyennant un strict respect des conditions d'exécution. Il faut cependant éviter de réaliser un ESHP sur un hydrocarboné fraîchement posé. Il est nécessaire de laisser d'abord passer la circulation sur le revêtement pendant quelques semaines afin d'éliminer le film de liant en surface.

La réalisation d'ESHP sur des revêtements en béton n'est pas recommandée. Si aucune autre solution n'est envisageable, il sera procédé à un traitement superficiel de la surface du béton (décapage par sablage, grenailage, etc.) afin d'éliminer la laitance superficielle du béton.

Vu son coût élevé, l'utilisation d'un ESHP est limitée aux sites du réseau routier qui nécessitent une résistance particulièrement élevée au glissement.

### **1.4.2.4. L'enduit coloré**

La couleur d'un enduit est donnée par la couleur ou la coloration des pierres utilisées. Par un choix judicieux des pierres, il est donc possible de créer des revêtements de diverses couleurs. On peut ainsi mieux visualiser les parties de la chaussée réservées aux divers usagers.

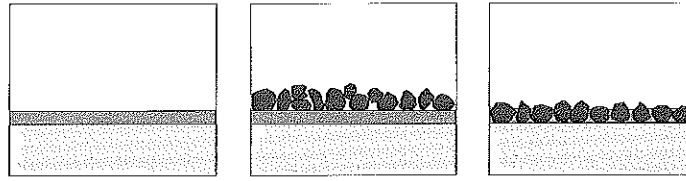
Tous les types d'enduits conviennent à la réalisation d'un revêtement coloré. Pour répondre à l'objectif, les pierres ne peuvent pas être préenrobées au bitume.



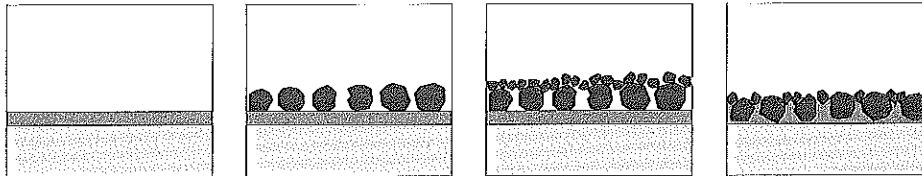
*Photo CRR 3836/23*

**Photo 3 - Exemple d'enduit coloré**

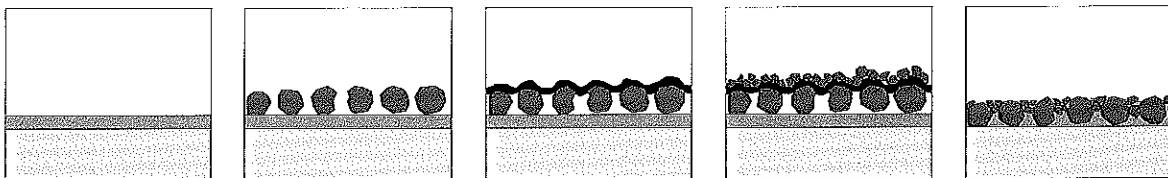
### 1.1 Enduit monocouche à simple gravillonnage



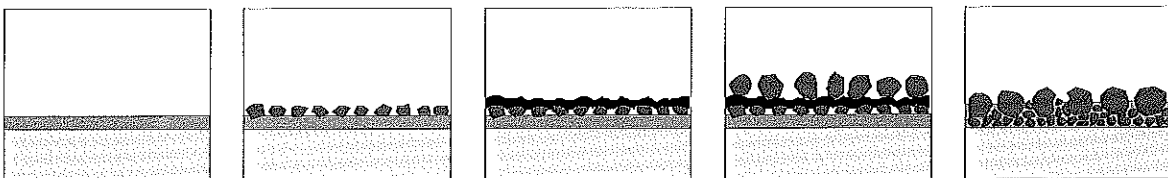
### 1.2 Enduit monocouche à double gravillonnage



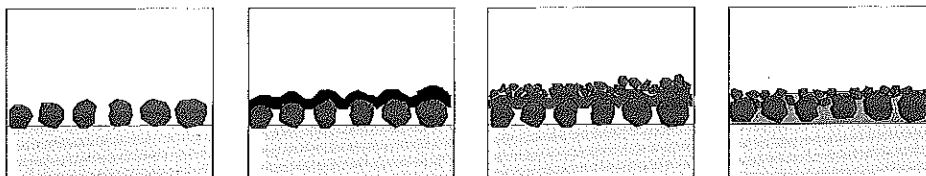
### 1.3 Enduit bicouche



### 1.4 Enduit bicouche inversé



### 1.5 Enduit prégravillonné (ou sandwich)



CRR-OCW 20423

Figure 1 - Types d'enduits superficiels



## **1.5. Avantages et inconvénients**

### **1.5.1. Avantages**

Outre les avantages classiques des enduits déjà mentionnés plus haut (rugosité, imperméabilité, etc.), cette technique connaît encore d'autres avantages à ne pas sous-estimer:

- augmentation de la durée de vie (grâce à l'imperméabilisation) de la structure totale;
- prix de revient très faible;
- maintien du niveau existant du revêtement (vu la faible épaisseur de l'enduit);
- vitesse d'exécution élevée (moyenne 10 000 m<sup>2</sup>/jour).

### **1.5.2. Inconvénients**

A côté des avantages indubitables de l'enduisage, certains défauts ne peuvent être écartés sans plus:

- la qualité de l'enduisage dépend fortement des conditions atmosphériques en vigueur pendant l'exécution et au cours des premiers jours qui la suivent;
- risque de rejets de pierres pouvant entraîner les bris de pare-brise et une gêne particulière en milieu urbain, lors de la mise en oeuvre et pendant les jours, voire les semaines, qui suivent;
- risque de "ressuage" lors de fortes chaleurs;
- risque de nuisance sonore en cas d'utilisation de gros calibres;
- faible résistance aux efforts tangentiels (zones de manœuvres, de freinage, etc.).

Certains de ces inconvénients ont été fortement atténués par l'amélioration des techniques et l'utilisation de liants modifiés.

Remarquons également que l'enduisage, par son épaisseur réduite, ne peut remédier aux défauts de profil, ornières, trous, etc. affectant le support; il convient dès lors, de les traiter préalablement.

## 2 MATERIAUX

Dans ce chapitre, le code décrit les types de liants utilisés actuellement. Il s'agit des émulsions à base de bitume pur, des émulsions à base de bitume modifié, des bitumes purs fluidifiés, des bitumes modifiés fluidifiés et des liants résineux; les principales caractéristiques et propriétés de divers liants cités sont présentées.

Les gravillons pour enduits superficiels doivent satisfaire à un ensemble d'exigences souvent plus sévères que celles auxquelles sont soumises les pierres pour enrobés. Ces exigences concernent le calibre, la forme, la propreté, la résistance mécanique, la résistance au polissage et l'adhésivité. Ces caractéristiques jouent un rôle prépondérant lors de l'exécution de l'enduit et influencent la durabilité et la bonne tenue ultérieure de celui-ci. Le code explique les raisons de ces exigences.

Il aborde ensuite le cas des gravillons préenrobés, la manière de réaliser ce laquage et les objectifs poursuivis (amélioration de l'adhésivité).

Pour clore ce chapitre consacré aux matériaux, le code présente quelques informations concernant l'emploi de gravillons spéciaux, tels que les gravillons colorés, les bauxites calcinées (réservées aux ESHP) et les scories.

### 2.1. Liants

#### 2.1.1. Généralités

Les liants actuellement disponibles et prévus dans les prescriptions peuvent être classés en 5 grandes catégories:

- Les émulsions cationiques à base de bitume routier, à rupture rapide et à teneur en bitume relativement élevée (> 65 %) (cf. réf. 1, § 12.8, réf. 2, § 11.4.2 et réf. 3).
- Les émulsions cationiques à base de bitume modifié avec élastomères (cf. réf. 1, § 12.9, réf. 2, § 11.4.3 et réf. 4) ou plastomères (cf. réf. 1, § 12.10, réf. 2, § 11.4.3 et réf. 5). Ce sont des émulsions cationiques à base de bitumes additionnés d'une quantité substantielle d'élastomères ou plastomères bien définis et ceci en vue d'applications particulières.
- Les liants constitués de bitume pur porté à la viscosité adéquate pour l'enduisage par fluidification à l'aide de solvants pétroliers (Rapid Curing) ou huiles de fluxage (Medium Curing). Ceux-ci sont désignés comme bitumes fluidifiés (cf. réf. 1, § 12.5, réf. 2, § 11.3.2 et réf. 6).
- Les bitumes fluidifiés modifiés avec élastomères (cf. réf. 1, § 12.6, réf. 2, § 11.3.2 et réf. 7). Ce sont des bitumes fluidifiés à base de bitumes additionnés d'une quantité substantielle d'élastomères bien définis et ceci en vue d'applications particulières.
- Les liants résineux pour les enduits à hautes performances.

#### Remarques

- nous avons exclu de la liste qui précède les liants à base de goudron et de dérivés du goudron (huiles de houille); bien que des bitumes fluidifiés à l'huile de houille soient encore utilisés actuellement pour la réalisation d'enduits, pour des raisons liées à l'hygiène et à l'environnement, ces produits ne sont plus guère prévus dans les CCT utilisés en Belgique. Leur utilisation étant appelée à disparaître complètement, ces liants ne seront plus mentionnés dans ce code de bonne pratique;

- l'intérêt croissant pour la préservation de l'environnement incite la recherche à s'orienter vers des liants d'épandage écologiques contenant d'autres fluidifiants que ceux d'origine pétrolière. Actuellement, sont apparus à l'étranger des liants à base de fluidifiants végétaux. Ce type de fluidifiant a l'avantage de durcir au contact de l'air, supprimant ainsi le rejet de composés organiques volatils dans l'atmosphère (réf. 8).

## 2.1.2. Types de liants

### 2.1.2.1. Les émulsions à base de bitume routier

L'émulsion de bitume est une dispersion d'une phase de liant hydrocarboné dans une phase aqueuse tensio-active.

Les émulsions de bitume sont des liants peu visqueux; on les utilise souvent entre 50 et 75 °C. Dès la rupture de l'émulsion épandue (normalement quelques dizaines de minutes), on obtient immédiatement un liant résiduel proche de la consistance du bitume de base. La période critique d'évolution du liant et de l'enduit est ainsi ramenée à une durée très courte. De plus, l'adhérence aux gravillons ou au support n'est pas troublée par la présence d'une légère humidité.

Les émulsions cationiques (polarité positive) sont caractérisées par les propriétés suivantes:

- indice de rupture (cf. réf. 9, réf. 10 et réf. 11);
- teneur en eau (cf. réf. 9, réf. 10 et réf. 12);
- finesse de dispersion (cf. réf. 9, réf. 10 et réf. 13).

Le liant résiduel de l'émulsion est caractérisé par:

- sa pénétrabilité (cf. réf. 9, réf. 10 et réf. 14);
- sa solubilité (cf. réf. 9, réf. 10 et réf. 15);
- sa masse volumique relative (cf. réf. 9, réf. 10 et réf. 16).

### 2.1.2.2. Les bitumes routiers fluidifiés

Le bitume fluidifié est fabriqué par ajout d'un solvant pétrolier ou d'une huile de fluxage au bitume routier.

Ceux-ci sont des liants visqueux qui doivent être chauffés, à une température supérieure à 100°C, avant la mise en oeuvre. Après l'épandage, on obtient un liant qui n'atteint ses caractéristiques finales qu'après une période d'évolution plus longue que celle d'une émulsion, ceci étant souhaitable pour les chaussées à faible trafic.

Les bitumes fluidifiés sont caractérisés par les propriétés suivantes:

- teneur en liant résiduel (cf. réf. 9, réf. 10 et réf. 17);
- viscosité cinématique à 60 °C (cf. réf. 9, réf. 10 et réf. 18);
- point d'éclair (cf. réf. 9, réf. 10 et réf. 19);
- distillation à températures diverses (cf. réf. 9, réf. 10 et réf. 17).

Le liant résiduel du bitume fluidifié est caractérisé par:

- sa pénétrabilité (cf. réf. 9, réf. 10 et réf. 14);
- sa solubilité (cf. réf. 9, réf. 10 et réf. 15).

### **2.1.2.3. Les liants modifiés**

Il s'agit des liants bitumineux (sous forme d'émulsion ou bitume fluidifié) dont la structure chimique et/ou les propriétés physiques et mécaniques ont été modifiées par introduction d'un polymère (élastomère ou plastomère) dans le bitume de base. L'ajout d'un polymère dans un liant pour enduit conduit généralement à réduire sa susceptibilité thermique (meilleur comportement aux températures de service basses et élevées) et à augmenter sa cohésion, sa viscosité et son pouvoir élastique.

Ces liants sont donc caractérisés par des propriétés spéciales du liant résiduel:

- ramollissement A&B (cf. réf. 9, réf. 10 et réf. 20);
- point de Fraass (cf. réf. 9, réf. 10 et réf. 21);
- ductilité à 5°C (cf. réf. 9, réf. 10 et réf. 22);
- dans le cas d'utilisation d'élastomères: retour élastique à 25°C (cf. réf. 9, réf. 10 et réf. 23).

### **2.1.2.4. Les liants résineux**

Il s'agit des liants thermodurcissables employés pour des enduits superficiels à haute performance. Ces liants sont du type bicomposant: le composant A est une résine époxydique contenant des plastifiants, le composant B contient du bitume, une huile diluante et des amines; les composants doivent être mélangés en proportions précises (installation spéciale de dosage et de mélange installée sur le camion épandeur) juste avant l'épandage.

Ces liants présentent une très forte adhérence aux revêtements bitumineux servant de support à l'enduit et procurent une très forte adhésivité aux gravillons de l'enduit. Ils sont caractérisés (à l'état durci) par leur résistance à la traction et leur allongement à la rupture.

## **2.2. Gravillons**

Les gravillons pour enduisages doivent satisfaire à un ensemble d'exigences. Celles-ci concernent le calibre, la forme, la propreté, la résistance mécanique, la résistance au polissage et l'adhésivité.

Ces caractéristiques jouent un rôle prépondérant lors de l'exécution de l'enduit et influencent la durabilité et la bonne tenue ultérieure de l'enduit.

L'enduisage ne requiert que des quantités de matériaux nettement plus réduites que celles exigées pour les autres techniques de revêtements; il est donc possible d'obtenir et de mettre en oeuvre des gravillons de qualité, sélectionnés avec soin.

### **2.2.1. Caractéristiques de fabrication**

#### **2.2.1.1. Calibre des gravillons**

Il est essentiel que les gravillons soient bien calibrés (classes monogranulaires indispensables) et correspondent bien à la catégorie prescrite pour le travail: il s'agira le plus souvent de 10/14, 7/10 ou 4/7 mm, plus rarement de 2/4 mm.

L'utilisation de classes granulométriques plus étalées rend en effet très difficile le choix d'un taux d'épandage de liant correct, entraînant soit un ressuage, soit le rejet d'une fraction imprévisible des plus gros éléments pierreux.

### **2.2.1.2. Forme des gravillons**

La forme des gravillons constitue une caractéristique au moins aussi importante que leur calibrage. Cette forme tendra vers celle du cube, bien entendu inaccessible dans la réalité industrielle; on s'efforcera cependant d'en approcher au mieux et de satisfaire - pour le moins - aux prescriptions des cahiers des charges exprimées par le biais de l' « indice de forme » des gravillons (on trouvera en annexe 1 les spécifications actuelles en la matière). Pratiquement, il conviendra d'exiger des gravillons reconcassés, avec un minimum de pierres plates.

Des gravillons trop plats « couvrent » plus, fournissent une mosaïque moins belle et mènent à plus de fragmentation que les gravillons cubiques. L'ajustage du taux correct de liant est plus délicat et l'épaisseur totale de l'enduit est plus faible; sa tenue à l'usure est donc également plus réduite.

### **2.2.1.3. Propreté des gravillons**

La présence de poussières entrave l'adhérence des gravillons au liant et peut donner lieu à divers défauts ultérieurs, notamment le rejet de gravillons. L'inconvénient est encore plus prononcé en cas d'utilisation de liants très visqueux.

Il est dès lors recommandé que le passant au tamis de 0,063 mm n'excède pas 0,5 %.

Un si faible taux de fines implique le lavage des gravillons (sauf en cas de pré-enrobage). L'attention est attirée sur le fait que les carriers ne sont pas toujours en mesure de faire face aux commandes (parfois tardives) de ce type de matériau.

## **2.2.2 Caractéristiques intrinsèques**

La résistance mécanique et la résistance au polissage sont plus particulièrement liées à la nature pétrographique des gravillons et donc à leur carrière d'origine. Ces caractéristiques ont une influence déterminante sur la durabilité des enduits soumis à une circulation lourde (attrition, usure, écrasement) et sur le coefficient de frottement (CFT), expression des propriétés antidérapantes de ces enduits.

Il est donc normal que les prescriptions des cahiers de charges prévoient des exigences précises et sévères pour la résistance à la compression statique, la valeur Los Angeles LA (mesure de la résistance aux chocs), la valeur Micro-Deval MDE (mesure de la résistance à l'usure) et le coefficient de polissage accéléré CPA (mesure de la résistance au polissage) des gravillons destinés aux enduisages sur routes supportant un trafic intense (on trouvera en annexe 1 les spécifications actuelles en la matière.) Pour les applications sur voies à faible circulation, l'on pourra cependant envisager l'emploi de matériaux locaux, plus économiques, après appréciation du cas précis.

### **2.2.3. Gravillons pré-enrobés**

Le pré-enrobage (« ou laquage ») consiste à enrober les gravillons d'un mince film de liant, à raison de 1 % environ en masse de la pierre: l'opération s'effectue au poste d'enrobage, après chauffage et dépoussiérage des gravillons (passage dans le tambour sécheur). Après traitement, les gravillons auront un aspect uniformément noir, ils seront non collants (secs) au toucher et s'écouleront librement lors des manipulations et du gravillonnage.

L'utilisation de gravillons pré-enrobés s'est avérée le plus efficace des procédés de promotion de l'adhésivité ainsi que le plus aisé à mettre en oeuvre par l'entrepreneur. Ce procédé garantit la mise en oeuvre de grains propres, dépoussiérés et son utilisation s'impose pour tous les enduits, sur chaussées fort circulées, réalisés avec les liants visqueux. De plus on ne peut trop recommander son emploi dans tous les cas difficiles.

Notons cependant que, lorsque le liant est une émulsion de bitume, on utilise des gravillons nus afin d'accélérer la rupture de l'émulsion.

## 2.2.4. Gravillons spéciaux

### 2.2.4.1 Gravillons colorés

Les gravillons colorés sont destinés aux enduits colorés. Ces gravillons sont le plus souvent des gravillons naturels, traités ou non, qui, en plus des caractéristiques de granulométrie, de forme, de propreté, de résistance mécanique et de résistance au polissage, présentent une couleur uniforme. Les couleurs les plus communes sont le rouge et le vert. Ces gravillons doivent être importés, ce qui augmente le coût.

### 2.2.4.2 Bauxites calcinées et autres gravillons spéciaux

Ces gravillons sont destinés aux ESHP. Certaines bauxites (minerais d'aluminium) donnent après calcination des gravillons offrant à la fois des résistances mécaniques pour usage routier en couche d'usure et des CPA de l'ordre de 70. Il existe également d'autres produits comme les émeris naturels (corindon, etc.) ou artificiels qui présentent des CPA très élevés (60-65) et des résistances mécaniques parfois supérieures à certaines bauxites calcinées.

Ces gravillons ont des teintes variables suivant leur origine: gris, blanc, brun foncé, rose etc. Ils ont en général des masses volumiques supérieures à  $3,4 \text{ kg/dm}^3$ . Ces gravillons doivent être importés.

### 2.2.4.3 Scories

Les scories sont des coproduits des aciéries. On distingue en général les scories d'aciérie LD (Linz-Donawitz) et celles d'aciéries électriques (EAF = electrical arc furnace); parmi ces dernières, on fait le plus souvent la distinction entre les scories d'aciers au carbone et celles d'acier inoxydable. Une fois criblées et éventuellement concassées, ces scories donnent des gravillons de teinte grise et de masse volumique de l'ordre de  $3,3 \text{ kg/dm}^3$ .

**Scories LD:** les caractéristiques de ces scories varient en fonction du processus sidérurgique. Lorsque ces caractéristiques sont bonnes, ces scories peuvent être utilisées comme gravillons dans les enduits. Outre les valeurs des CPA, MDE et LA, il convient, pour éviter tout problème de gonflement, de mesurer la teneur en chaux libre et la stabilité volumétrique de ces scories. Les méthodes expérimentales et valeurs limites sont reprises dans la réf. 24 (ou à la réf. 25) et dans les cahiers des charges-types. Le respect des teneurs en chaux libre demande en général un mûrissement de ces scories (stockage à l'air libre durant plusieurs mois).

**Scories EAF aciers au carbone:** elles sont beaucoup moins sensibles au gonflement que les scories LD car elles contiennent nettement moins de chaux libre. Il faut toutefois être attentif à la présence de MgO (risque de gonflement) et donc faire les tests prévus (cf. réf. 24).

Ces scories conviennent bien pour les enduisages. Elles présentent la plupart du temps des CPA, LA et MDE meilleurs que les scories LD: on trouve des CPA allant de 58 à 70 et  $LA+MDE < 25$ .

## 3 PROJET

Ce chapitre aborde successivement les aspects suivants: choix à effectuer par l'auteur de projet et par l'entrepreneur, choix du type d'enduit, choix du calibre des gravillons, choix du type de liant, vérification de l'adhésivité (liant-gravillon), et fixation des taux d'épandage du liant et des gravillons.

### 3.1. Choix à effectuer par l'auteur de projet et par l'entrepreneur

#### 3.1.1 Choix à effectuer par l'auteur de projet

Lorsque l'auteur de projet ou le gestionnaire de la route a prévu le traitement par enduisage d'une section de route déterminée ou d'un ensemble de voies dans une unité administrative, il lui revient de préciser, outre les éventuels travaux préparatoires nécessaires (cf. § 5.1), un certain nombre d'aspects, et notamment:

- le type d'enduit (monocouche, bicouche, etc.);
- le(s) calibre(s) des gravillons;
- le choix entre un bitume ordinaire ou un bitume modifié;
- le choix éventuel de la couleur (ainsi que certains moyens pour y parvenir: par ex. préenrobage = couleur noire).

Ces précisions doivent être intégrées dans le cahier spécial de charges; elles sont indispensables pour permettre à l'entrepreneur d'établir un prix.

#### Projets de normes européennes

A noter que les projets de normes européennes ont une approche différente quant aux critères à imposer; plutôt que de préciser le calibre des gravillons et le type de liant (ordinaire ou modifié), ces projets de normes préfèrent spécifier la texture de l'enduit et certaines caractéristiques du liant résiduel (la cohésion notamment). Cette approche, basée sur des critères performantiels, quoique séduisante du point de vue des principes, nous paraît actuellement prématurée. Les données manquent, en effet, pour passer de nos expériences professionnelles actuelles à ces critères performantiels.

La décision de l'auteur de projet ou du gestionnaire fera suite à une inspection approfondie des lieux et sera basée sur la prise en considération des facteurs suivants:

- But visé

Imperméabilisation, couche d'usure, rugosité, drainabilité superficielle, etc.

- Catégorie de trafic

- trafic faible: moins de 1000 véhicules par voie et par jour et moins de 100 véhicules commerciaux > 3,5 t) par voie et par jour;
- trafic élevé: plus de 4000 véhicules par voie et par jour ou plus de 800 véhicules commerciaux (> 3,5 t) par voie et par jour;
- trafic moyen: situation intermédiaire au trafic faible et au trafic élevé.

- Nature du support

- enrobé asphaltique fermé ou enrobé drainant;
- enduit ou RBCF;
- béton de ciment;
- pavage (pavés en pierre naturelle, en béton de ciment, briques en terre cuite);
- fondation (empièrrement lié ou non lié, empièrrement à pénétration).

- Dureté du support

- dur (= non poinçonnable): par ex. béton de ciment, surface riche en pierres, revêtement bitumineux courant;
- mou (= poinçonnable): un support est poinçonnable lorsque, pour une température > 40°C, il est possible d'y enfoncer une pierre de calibre 7/10 par pression d'un talon. Par ex. revêtement hydrocarboné riche en liant ou en éléments fins, enduit ressuant, etc.

- Texture du support

- lisse: hauteur au sable (HS) < 0,8 mm;
- normale: hauteur au sable (HS) comprise entre 0,8 et 1,2 mm;
- rugueux: hauteur au sable (HS) comprise entre 1,2 mm et 1,7mm;
- très rugueux: hauteur au sable (HS) > 1,7 mm;

La texture du support se mesure selon le mode opératoire décrit à la réf. 26.

- Etat du support

- neuf, usé mais homogène, hétérogène, etc.;
- porosité (perméabilité, présence de fines fissures);
- profil correct, ondulations, ornières, affaissements, etc.;
- fissures, faïençage, trous, etc.;
- accotements (niveau, végétation, etc.);
- écoulement des eaux (absence de flaques, etc.).

(Déterminer la nature et l'ampleur des réparations nécessaires).

- Site – Environnement

- rase campagne;
- sous-bois, site très ensoleillé;
- côtes, pentes, virages, etc.;
- agglomérations;
- problématique du bruit.

### **3.1.2. Choix à effectuer par l'entrepreneur**

Les détails techniques concernant les taux d'épandage, la viscosité des liants (bitume fluidifié ou émulsion), etc. seront fixés par l'entrepreneur peu avant l'exécution proprement dite, au vu de l'état du support et des conditions climatiques du moment.

## **3.2. Choix du type d'enduit**

Le choix du type d'enduit est essentiellement fonction du trafic, du support, de l'environnement, de l'époque de réalisation et, bien sûr, de la fonction recherchée (rugosité-étanchéité).

Ci-dessous quelques éléments qui conduisent au choix des principaux types d'enduits; en ce qui concerne le choix des variantes d'enduits pour usage spécifique, on se rapportera au § 1.4.2.

### **3.2.1. L'enduit monocouche**

L'enduit monocouche constitue la solution la plus indiquée pour la majorité des voies supportant une circulation réduite. L'enduit monocouche ne convient pas lorsque la porosité du support est excessive



et il n'accepte pas les efforts tangentiels trop importants. Dès que le trafic atteint 1000 véhicules par voie et par jour ou que le nombre de véhicules commerciaux dépasse 100 véhicules par voie et par jour, il convient de prévoir un type d'enduit plus résistant (tel que l'enduit bicouche).

### 3.2.2. L'enduit bicouche

L'enduit bicouche est adapté aux travaux sur chaussées à trafic élevé (cf. § 3.1.1) car il fournit un revêtement dont l'épaisseur est supérieure à celle d'un monocouche; la durabilité de l'enduit bicouche sera donc plus élevée. Il convient également bien pour les routes à trafic rapide, car il procure une sécurité plus grande aux usagers (bris de pare-brise) lors de l'exécution. Il est aussi préféré lorsque le support est hétérogène ou lorsque l'étanchéité du revêtement existant doit être améliorée (par ex. en cas de présence de nombreuses zones poreuses ou finement fissurées).

L'enduit bicouche convient enfin mieux que le monocouche en cas de réalisation en arrière-saison.

### 3.2.3. L'enduit monocouche à double gravillonnage

L'enduit monocouche à double gravillonnage est essentiellement destiné à créer une rugosité élevée et concerne donc en premier lieu les chaussées à trafic rapide, lorsque le support est en état satisfaisant. C'est une structure qui présente un niveau sonore relativement élevé.

Le tableau 1 ci-après donne quelques recommandations concernant le choix du type d'enduit en fonction du site, du support et du trafic.

**Tableau 1-** Recommandations concernant le choix du type d'enduit en fonction du site, du support et du trafic

Site	Support	Trafic (cf. § 3.1.1)		
		Lourd	Moyen	Léger
Hors agglomération	Lisse sans ressuage	Bi 7/10-4/7 Bi 10/14-4/7 MDG 10/14-4/7	Bi 7/10-4/7 MDG 7/10-4/7 MDG 10/14-4/7 Mono 7/10 Mono 4/7	Mono 7/10 Mono 4/7
	Rugueux	Bi 10/14-4/7 Bi 7/10-4/7	Bi 7/10-4/7 Mono 7/10 Mono 4/7	Bi 7/10-4/7 Mono 7/10 Mono 4/7
	Hétérogène poreux	Généralement déconseillé	Bi 10/14-4/7 Bi 7/10-4/7 Bi 4/7-2/4	Bi 7/10-4/7 Bi 4/7-2/4
En agglomération	Lisse sans ressuage	Généralement déconseillé	Bi 7/10-4/7 Bi 4/7-2/4 MDG 7/10-4/7 Mono 7/10 Mono 4/7 Mono 2/4	Bi 4/7-2/4 Mono 7/10 Mono 4/7 Mono 2/4
	Rugueux	Généralement déconseillé	Bi 7/10-4/7 Bi 4/7-2/4 Mono 7/10 Mono 4/7	Bi 7/10-2/4 Bi 4/7-2/4 Mono 4/7 Mono 2/4
	Hétérogène poreux	Généralement déconseillé	Bi 7/10-4/7 Bi 7/10-2/4 Bi 4/7-2/4	Bi 7/10-2/4 Bi 4/7-2/4 Mono 4/7

MDG: enduit monocouche à double gravillonnage

Mono: enduit monocouche (à simple gravillonnage)

Bi: enduit bicouche

### 3.3 Choix du calibre des gravillons

La structure de l'enduit, le type de trafic et les caractéristiques du support sont les principaux paramètres à considérer pour le choix du calibre des gravillons. Cependant, d'autres critères seront à prendre en compte, tels que la rugosité (obtention d'une bonne macro et micro texture et maintien dans le temps), l'environnement (site et bruit de roulement) et la drainabilité superficielle du nouveau revêtement.

Le tableau 2 donne quelques éléments de choix du calibre des gravillons.

Tableau 2 - Choix du calibre des gravillons

	Gros calibre (> 7)	Faible calibre (< 7)
Trafic	Élevé	Faible
Site	Rural	Urbain
Bruit	Elevé	Faible
Hétérogénéité du support	Elevée	Faible
Texture de l'enduit	Forte	Faible
Drainabilité superficielle de l'enduit	Elevée	Faible

Dans les **monocouches**, les granularités 4/7 et 7/10 sont les plus courantes, mais les 2/4 et les 10/14 peuvent être exceptionnellement utilisées pour obtenir des textures plus faibles ou plus fortes. Dans les zones urbanisées, les zones "30" et les zones réservées aux jeux d'enfants, il est bon d'adopter un 4/7, voire un 2/4 (si le support est homogène et suffisamment dur) afin d'obtenir un enduit plus fin, moins bruyant et plus confortable aux usagers légers (piétons, cyclistes).

En règle générale, **dans les monocouches double gravillonnage et les bicouches**, la discontinuité de calibre entre les 2 couches de gravillons est conseillée.

Dans ce type d'enduit, le 10/14 est généralement conjugué avec du 4/7, cette discontinuité étant, par expérience, celle qui conduit au meilleur résultat.

Dans certains cas, on peut envisager l'utilisation de granularités jointives (7/10-4/7 et 4/7-2/4); notamment lorsqu'on veut obtenir un revêtement moins bruyant ou réduire le risque de poinçonnement du support; il convient alors d'utiliser les granularités les plus fines compatibles avec le support et les conditions d'exploitation de la route.

La combinaison 4/7-2/4 convient particulièrement pour certains sites urbains, tels les zones "30" et les zones réservées aux jeux d'enfants (cf. Cas des monocouches ci-dessus).

### 3.4 Choix du type de liant

Nous rappelons que c'est à l'auteur de projet de faire le choix entre un bitume modifié ou non. Par contre, le choix de la viscosité du liant, et notamment le choix entre une émulsion ou un bitume fluidifié, doit être laissé à l'entrepreneur.

#### 3.4.1. Généralités

De façon très schématique, les particularités des différents liants pour enduits superficiels se manifestent ainsi:

- au moment du gravillonnage et du compactage de l'enduit, le liant déjà épandu doit être suffisamment fluide, (c'est-à-dire présenter une viscosité assez faible) pour que le mouillage des gravillons se fasse. C'est donc la viscosité du liant utilisé à la température du support au moment des travaux (viscosité initiale) qui déterminera cette aptitude au mouillage.

Les particularités chimiques propres aux divers liants, ou l'addition d'agents d'adhésion (dopes) peuvent légèrement influencer cette caractéristique;

- dans la phase suivante de la vie de l'enduit, à l'ouverture à la circulation, caractérisée par la viscosité au jeune âge, il convient de distinguer deux cas extrêmes:
  - a) sur une route à forte circulation, il est souhaitable d'atteindre dans le plus bref délai le collage définitif des gravillons et une fixation solide de ces derniers, rapidement mis en place sous les nombreux véhicules; pendant cette phase transitoire l'enduit est en effet très vulnérable;
  - b) dans l'autre cas, celui de la chaussée à très faible circulation, il convient au contraire de conserver pendant un certain temps un liant assez malléable pour permettre une bonne mise en place de la mosaïque sous l'action des rares véhicules. L'emploi d'un liant à évolution assez lente, c'est-à-dire contenant des solvants peu volatils, est donc plus indiqué ici.
- enfin, dans le stade définitif de l'enduit, en régime, ce sont les caractéristiques du liant dit résiduel qui importent. Ici encore il y a lieu de distinguer le cas de la route axiale à grande circulation, qui exige un liant résiduel à viscosité et à cohésion très élevées (sans toutefois devenir fragile en hiver), et le cas des voies rurales à infrastructure sommaire où l'imperméabilisation et la conservation de la chaussée sont surtout importantes. Dans ce dernier cas, un liant restant suffisamment « vivant », c'est-à-dire malléable et collant, pour s'adapter aux éventuelles déformations du support, sera préférable.

C'est la prise en considération de ces différents facteurs parfois contradictoires qui doit guider le choix du liant pour une application donnée.

### **3.4.2 Choix entre une émulsion et un bitume fluidifié**

Ce choix s'effectue en fonction de la structure de l'enduit, du trafic et de l'époque de réalisation.

Les bitumes fluidifiés sont des liants à évolution lente. En enduisage, ils s'accommodent avec l'usage de gravillons préenrobés. Les émulsions sont des liants à évolution rapide.

Ces liants s'accommodent avec l'usage de pierres nues; ce type de liant devra donc être utilisé au cas où la couleur ou la luminescence du gravillon est importante.

D'une façon générale, l'emploi d'émulsions permettra des réalisations d'enduits plus tôt ou plus tard dans l'année qu'avec des bitumes fluidifiés (particulièrement à partir de septembre lorsque le support atteint des températures inférieures à 10°C).

#### **3.4.2.1. Monocouches à simple gravillonnage**

Les liants fluidifiés sont les plus généralement choisis pour l'exécution des monocouches; ce type d'enduit étant préconisé pour les voies à faible trafic seulement, on optera logiquement pour les liants à évolution relativement lente, dont le liant résiduel conserve longtemps une certaine plasticité; on disposera donc d'un délai plus long pour la mise en place de la mosaïque.

Les émulsions de bitume peuvent également être utilisées; elles seront néanmoins réservées à l'application des plus fins calibres (2/4 ou 4/7 mm). Pour les calibres plus élevés, cela conduirait à des taux d'épandage trop élevés, ce qui aboutirait à des risques d'écoulement et de rupture différenciée de l'émulsion (rupture en surface, mais pas dans la masse).

### 3.4.2.2. *Bicouches*

Les émulsions de bitume seront préférées dans le cas des enduits bicouches. L'émulsion permet d'obtenir très rapidement un liant résiduel de haute viscosité, ce qui limite les inconvénients lors de la mise sous trafic, tout en assurant un bon mouillage et une bonne adhésivité initiale des gravillons.

Le type de liant (émulsion ou bitume fluidifié, modifié ou non) utilisé est identique pour les 2 couches de l'enduit bicouche.

### 3.4.2.3. *Monocouches double gravillonnage*

On utilise préférentiellement du bitume fluidifié car, bien que l'émulsion de bitume soit admise pour les monocouches à double gravillonnage, le dosage important de cette dernière (environ 2 kg/m<sup>2</sup>) augmente le risque d'écoulement et de collage aux pneus des camions.

### 3.4.3. **Choix du liant en fonction du trafic et l'époque de réalisation (bitume modifié ou non)**

Lorsque le trafic est important, les liants modifiés sous la forme de bitume fluidifié ou en émulsion sont à retenir avec une préférence pour les émulsions qui permettent une stabilisation plus rapide de l'enduit. Les liants modifiés doivent également être envisagés dans le cas de routes présentant des situations difficiles:

- efforts tangentiels (virages à faible rayon 15 - 20 m);
- contraintes climatiques (chaud l'été - froid l'hiver);
- contraintes d'exploitation (mise en service rapide).

### 3.4.4. **Choix de la viscosité initiale du liant**

La nature du liant étant définie, il s'agit de choisir sa viscosité au moment de la mise en oeuvre (viscosité initiale). Ceci concerne principalement les bitumes fluidifiés mais est également très important pour les émulsions.

Le trafic, l'époque de réalisation, ainsi que la pente résultante de la chaussée en fonction de laquelle il peut y avoir un risque d'écoulement du liant (dans ce cas un liant de viscosité plus élevée doit être choisi), sont les trois principaux paramètres qu'il y a lieu de considérer pour le choix de la viscosité initiale. Il conviendra de tenir compte, dans certains cas, du climat du site.

Le choix de la viscosité initiale du liant doit être guidé par le souci de faciliter d'une part la mise en place de l'enduit, et d'autre part le mûrissement rapide de celui-ci, particulièrement lors d'une application en avant ou en arrière-saison.

Le choix du liant sera guidé en premier lieu par l'importance du trafic. Il y a lieu de tenir compte de la vitesse d'évolution du liant (**viscosité initiale** → **viscosité « au jeune âge »** → **viscosité du liant résiduel**), ainsi que de la qualité du liant résiduel: cohésion de l'enduit. Complémentairement, le climat du site a son importance.

- Si trafic lourd et climat chaud: liant plus visqueux et à évolution rapide.
- Si trafic faible et climat froid: liant moins visqueux et à évolution lente.

En deuxième lieu, on considérera la saison d'exécution pour choisir la catégorie de viscosité initiale du liant retenu. Par exemple, si le bitume fluidifié est retenu pour un enduit bicouche sur chaussée d'importance faible à moyenne, on choisira une viscosité initiale moins élevée en avant et arrière-saison qu'en saison estivale (15 juin - 15 août).

En troisième lieu, il y a lieu d'adapter la température du liant aux conditions atmosphériques existantes lors de l'exécution de l'enduit. En effet, par le passé, on préconisait l'utilisation d'un liant de viscosité normale en période d'exécution habituelle, et un liant de faible viscosité, obtenue par ajout de fluidifiants en période plus froide. Cela augmentait le risque de ressuage au printemps par la non-évaporation des huiles lors de l'exécution (et juste après celle-ci). La tendance actuelle est d'utiliser un liant de viscosité normale mais d'en augmenter la température (de 10 à 15 °C) en période froide pour en diminuer la viscosité et permettre ainsi à une majorité de fluidifiants de s'évaporer grâce à la température plus élevée du liant.

Les viscosités figurant habituellement dans les prescriptions de nos cahiers des charges, et ce particulièrement pour les bitumes fluidifiés, sont assez larges et ne tiennent pas compte de l'évolution des liants depuis leur fabrication jusqu'à leur mise en oeuvre et leur acheminement en laboratoire pour contrôles a posteriori. En effet, la viscosité mesurée d'un bitume fluidifié est fortement dépendante du moment de l'échantillonnage (usine, chantier ou laboratoire). Les exigences en matière de viscosité devraient être mises en adéquation avec le moment de l'échantillonnage, le processus de préparation de l'échantillon et la procédure d'essai.

Le tableau 3 donne certains principes à retenir pour le choix du type de liant et sa viscosité initiale. Les liants utilisés sont donnés par ordre de viscosité décroissante.

**Tableau 3 - Utilisation des liants en fonction de la saison et du trafic**

Mois	Avril		Mai		Juin		Juillet		Août		Septembre		Octobre	
Température de l'air	< 10°C		10-15°C		15-25°C		15-25°C		15-25°C		10-15°C		< 10°C	
Période	1-15	16-30	1-15	16-31	1-15	16-30	1-15	16-31	1-15	16-31	1-15	16-30	1-15	16-31
Trafic lourd à moyen			<b>Bitume modifié fluidifié</b> <b>Bitume fluidifié</b> <b>Emulsion de bitume ou de liant modifié</b>											
Trafic léger			<b>Bitume fluidifié</b> <b>Emulsion de bitume ou de liant modifié</b>											

#### Remarques

- Il est impératif de respecter les températures de l'air, indiquées dans le tableau 3, lors de la pose de l'enduit.
- Il est préférable de poser un enduit en avant saison plutôt qu'en arrière saison.

### **3.5. Vérification de la compatibilité liant – gravillons: adhésivité**

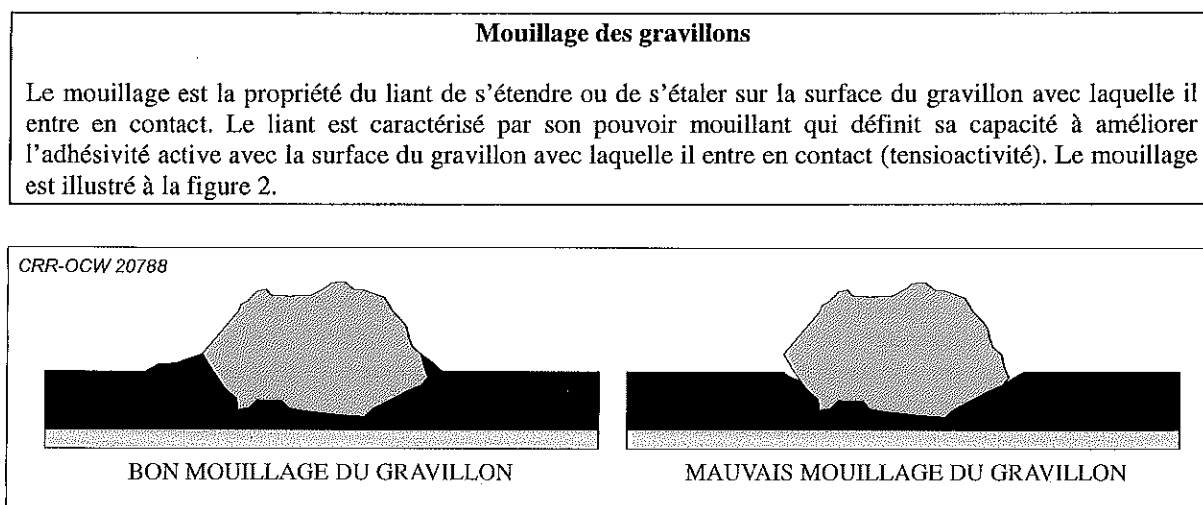
#### **3.5.1. Importance de l'adhésivité**

L'adhésivité liant-gravillons est une caractéristique très importante; un manque d'adhésivité est une des causes principales des plumages et arrachements. Une bonne adhésivité est indispensable notamment dans le cas des enduisages à base de bitume fluidifié exécutés sur chaussées à trafic moyen ou élevé ou dès que le temps devient incertain.

Le liant et les gravillons sont souvent choisis séparément, aussi l'entrepreneur doit-il s'assurer que leur affinité (adhésivité) est effective et qu'elle se maintient dans le temps.

L'affinité liant-gravillons est déterminée par:

- la possibilité de mouillage des gravillons par le liant;



**Figure 2 - Mouillage du gravillon**

- la permanence du collage en présence d'eau;

Lorsque les gravillons sont secs, le mouillage par le liant ne présente pas, la plupart du temps (sauf éventuellement certains gravillons de caractère acide), de difficultés dans la mesure où la propreté est correcte. L'adhésion mécanique ou adhésion globale s'apprécie au moyen de l'essai Vialit (réf. 27). Le test est considéré comme satisfaisant si le résultat est  $> 90$ .

Mais les gravillons sont souvent humides, il faut alors s'assurer que le liant peut les mouiller dans ce cas. Il s'agit de l'adhésivité active. L'essai de plaque Vialit avec gravillons humides permet d'apprécier cette adhésivité. Le test est considéré comme satisfaisant si le résultat est  $> 90$ .

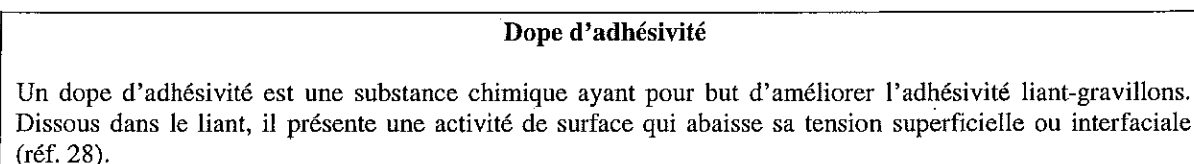
### 3.5.2. Moyens pour améliorer l'adhésivité entre le liant et les gravillons

Lorsque les résultats des essais d'adhésivité ne sont pas satisfaisants, on peut envisager une amélioration par différents moyens:

#### 3.5.2.1. Au niveau du liant

Par incorporation dans la masse d'un dope d'adhésivité: c'est le dopage dans la masse.

Ce type de dopage a essentiellement une action de maintien du collage liant-gravillons dans le temps;



Compte tenu de sa très faible concentration ( $\pm 0,3$  % en poids de liant) et afin d'obtenir une bonne homogénéité, il est recommandé d'effectuer cette opération dans une installation fixe, avec des équipements adéquats.

### 3.5.2.2. *Au niveau des gravillons*

- Par un lavage ou un dépoussiérage en carrière, afin d'obtenir des matériaux propres.

#### **Dépoussiérage à sec**

Le dépoussiérage à sec consiste à capter les fines particules avant qu'elles ne se déposent sur le gravillon ou lorsqu'elles s'en détachent. Cela se fait par aspiration dans les zones préférentielles d'émission de poussière: concasseurs secondaires et tertiaires, têtes de courroies transporteuses, chutes, bacs à pierres, cribles, etc. Les fines sont ensuite séparées de l'air aspiré, par exemple, dans des cyclones ou des filtres à manches. Cette technique présente l'avantage de produire un gravillon sec et de limiter l'impact environnemental (limitation des émissions de poussières). Son efficacité est malheureusement largement dépendante de l'humidité des gravillons présents dans la zone carénée où l'air est aspiré. Cette méthode ne permet donc pas, en général, d'obtenir des teneurs en fines  $\leq 0,5 \%$ , sauf s'il y a séchage des gravillons. Le coût du séchage est tel qu'il est rarement utilisé en carrière.

Bien évidemment si la présence d'argile ou d'une altération du gisement imposait de toute façon un lavage, il ne saurait être question de dépoussiérage à sec.

#### **Lavage des gravillons**

Le lavage des gravillons, pour en améliorer la propreté, se fait le plus souvent par rinçage ou pulvérisation sur cribles. L'avantage indéniable de cette technique est qu'elle permet d'atteindre des propretés meilleures que la technique à sec. Elle a par contre deux inconvénients: elle produit des boues à traiter et les gravillons sont forcément très humides lors de leur production. Dans les granulométries  $> 3 \text{ mm}$ , cette humidité chute rapidement lors du stockage.

- Par un traitement du gravillon:
  - prétraitement avec un dope d'adhésivité;
  - pré-enrobage en centrale d'enrobage avec un bitume pur éventuellement en émulsion (le pré-enrobage ne peut pas être utilisé lorsque le liant de l'enduit est une émulsion);
  - séchage, chauffage et dépoussiérage en centrale d'enrobage.

### 3.5.2.3. *A l'interface liant-gravillons*

Par l'application in situ d'un dope d'adhésivité entre la couche de liant et les gravillons: c'est le dopage d'interface.

Ce type de dopage permet surtout de favoriser le mouillage immédiat du gravillon au contact avec le liant.

Le dosage en produit pur appliqué est de l'ordre de  $3 \text{ g/m}^2$ . Le produit pulvérisé est une solution ou une dispersion dans l'eau généralement dosée à 10 % de produit actif.

## 3.6. Taux d'épandage du liant et des gravillons

### 3.6.1. Règles générales

Ce paragraphe concerne les règles générales applicables à tous les types d'enduits; les règles complémentaires particulières aux principaux types d'enduits sont détaillées aux paragraphes 3.6.2 à 3.6.5.

#### 3.6.1.1. Dosage du liant

Un taux de liant correct constitue un facteur de réussite essentiel; il est donc logique de porter toute son attention à la fixation de ce taux avant d'entamer l'enduisage.

##### 3.6.1.1.1 Comment fixer les taux d'épandage ?

Il n'est pas possible d'établir un tableau de valeurs sûres, universellement applicables, le nombre de facteurs agissant sur le taux adéquat étant trop élevé.

Le mécanisme le plus pratique consiste à partir d'un taux de liant minimum (tableaux 4 à 7) donnant généralement satisfaction - sous notre climat - dans des cas courants d'un site et d'un support ne présentant aucune singularité.

#### Support standard

Est considéré comme support standard (sans aucune singularité), le support possédant les caractéristiques suivantes:

- texture normale:  $0,8 < HS < 1,2$  (cf. § 3.1.1.);
- non poreux (n'absorbe pas le liant de l'enduit);
- non poinçonnable (cf. § 3.1.1.).

Ce sont ces valeurs de taux minimum que l'on trouve généralement dans les cahiers de charges. L'entrepreneur définit quant à lui, en fonction de son expérience et des matériaux qu'il utilise, un taux de base applicable à une situation (trafic, environnement, support, etc.) standard; ce taux de base est évidemment supérieur au taux minimum dont question ci-dessus.

Ce taux de base ainsi défini est ensuite adapté aux particularités du site à enduire: porosité du support, dureté du support, ensoleillement, etc. Les coefficients correcteurs à appliquer au taux de base seront discutés au § 3.6.6 et sont repris au tableau 8, page 30.

##### 3.6.1.1.2 Principes pour la fixation des taux d'épandage

Les principes qui guident la fixation du taux du liant sont les suivants:

1. En premier lieu, un certain volume de liant est nécessaire pour combler les vides superficiels du support et ce liant ne participe que très peu à la fixation des gravillons. La quantité de liant requise est évidemment fonction de l'état plus ou moins rugueux et poreux du support à enduire.
2. La fraction principale du liant sert à fixer les gravillons qui, après mise en place de la structure complète de l'enduit, devraient y être immergés jusqu'entre la moitié et les deux tiers de leur hauteur. Le volume de liant nécessaire est donc fonction du calibre de ces gravillons et de leur épaisseur (s'ils sont de forme plate, ils ont tendance à se coucher ou à se briser sous la circulation).
3. Si la circulation est suffisante, la mise en place des gravillons (leur enfoncement dans le liant) se fera assez rapidement; si cette circulation est très réduite, l'enfoncement correct ne sera peut être jamais atteint et une couche plus épaisse de liant est souhaitable pour favoriser le processus.



Inversement lorsque la circulation est intense, l'enfoncement est efficace et très rapide et la couche de liant peut être quelque peu réduite.

4. A moins que le support ne soit particulièrement dur (dans le cas d'un support mou, l'enfoncement des gravillons peut aller jusqu'à la pénétration dans l'ancien support), l'enduisage d'une chaussée à trafic dense réclame donc moins de liant que le même support avec un trafic réduit.
5. Les gravillons de forme plus « aplatie » que la normale demandent aussi moins de liant.
6. L'exposition de l'enduit a également un effet sur le taux correct de liant: une exposition très ensoleillée favorise la mise en place de gravillons et fera abaisser le taux favorable, tandis que les sites ombragés ou humides requerront un supplément de liant: sous-bois, passages inférieurs, chemins creux, etc.

#### 3.6.1.1.3 Expression des taux d'épandage

Il y a lieu d'éviter les confusions lors de l'expression du taux d'épandage pour des liants différents; il n'est pas équivalent de les exprimer en  $l/m^2$  ou  $kg/m^2$ .

Quant à l'émulsion de bitume, on parlera souvent sur le chantier de quantité d'émulsion exprimée en  $kg/m^2$ , mais ceci ne prendra de sens précis qu'en indiquant la teneur en bitume de l'émulsion (généralement de l'ordre de 65-67 %). Seul le bitume contenu dans l'émulsion, soit environ les 2/3 de la quantité de liant épandu, joue un rôle actif.

#### 3.6.1.2. Dosage des gravillons

Il faut insister sur le fait que les valeurs indiquées aux tableaux 4 à 7 sont des valeurs indicatives et que les taux exacts valables pour un stock déterminé de gravillons doivent être établis au moment de l'utilisation de ce matériau. On détermine pour ce faire le pouvoir couvrant des gravillons; celui-ci, exprimé généralement en  $l/m^2$ , résulte de la mesure du volume de la quantité maximale de gravillons recouvrant en totalité (mosaïque de densité satisfaisante), et sans superposition, une surface donnée.

### 3.6.2. Enduits monocouches

#### 3.6.2.1. Dosage en liant

Les taux minima sont proposés au tableau 4.

#### 3.6.2.2. Dosage en gravillons

Pour un enduit monocouche, les gravillons doivent après compactage recouvrir complètement le liant, en constituant une seule couche serrée d'éléments jointifs.

Les lacunes dans la mosaïque ou les chevauchements de pierres sont également nocifs; l'absence de calage mutuel des gravillons est la cause d'arrachements ou de plumages ultérieurs, tandis que les pierres en excès jouent le rôle de leviers ou de coins grâce auxquels la circulation abîmera la mosaïque existante. Pour obtenir une mosaïque serrée, il faut bien entendu épandre un léger excès par rapport à la quantité strictement nécessaire; mais cet excès doit être soigneusement limité (< 5 %).

La quantité exacte de gravillons nécessaires à cet effet dépend du calibre et de la forme des grains.

Pour cette structure, le dosage à retenir doit être celui correspondant au pouvoir couvrant + 5 % maximum.

Les taux minima sont proposées au tableau 4.

### 3.6.2.3 Taux minima

**Tableau 4** - Taux minima de gravillons et liant résiduel pour enduits monocouches

Type = Granularité	Taux minima		
	Gravillons (litre/m <sup>2</sup> )	Gravillons (kg/m <sup>2</sup> )	Liant résiduel (kg/m <sup>2</sup> )
2/4	3,2	5,0	0,55
4/7	5,5	8,5	0,8
7/10	8,0	12,5	0,9
10/14	10,5	15,0	1,2

Note: Les taux (exprimés en kg/m<sup>2</sup>) de gravillons du tableau sont valables lorsque ces derniers présentent une densité comprise entre 2500 et 3000 kg/m<sup>3</sup>; en dehors de ces limites, ces taux doivent être calculés au départ des taux volumiques en fonction de la densité réelle des gravillons.

### 3.6.3. Enduits monocouches à double gravillonnage

#### 3.6.3.1. Dosage en liant

Dans les enduits monocouche à double gravillonnage, la quantité de l'unique couche de liant doit être suffisante pour faire adhérer la première couche de gravillons au support et pour coller la 2<sup>ème</sup> couche de gravillons.

Les taux minima sont indiqués au tableau 5.

#### 3.6.3.2. Dosage en gravillons

La réussite de ce type d'enduit implique que le gravillonnage des gros éléments soit réalisé de façon à obtenir une mosaïque monocouche, sans aucun chevauchement de pierres, laissant légèrement apparaître le liant entre les gravillons, afin que les petits éléments 4/7 (éventuellement 2/4) puissent venir se caler dans ces interstices et consolider la mosaïque principale.

L'objectif à viser est donc l'obtention d'une grille primaire des gros gravillons laissant apparaître environ ¼ de la surface du liant épandu, le gravillon de petit calibre venant remplir ces vides avec un dosage tel qu'il laisse apparente la tête des gros gravillons.

Ces dosages doivent en effet conduire à la formation d'une mosaïque permettant une bonne drainabilité de surface.

Ces dosages doivent en outre permettre:

- le passage des engins de chantier sans collage des pneumatiques au liant;
- le compactage des deux couches de gravillons.

Pour cette structure, les dosages à retenir sont:

- première couche: le pouvoir couvrant - 25 %,
- seconde couche: le pouvoir couvrant - 20 à - 30 %.

### 3.6.3.3 Taux minima

**Tableau 5** - Taux minima de gravillons et liant résiduel pour enduits monocouches à double gravillonnage

Type	Taux minima gravillons				Taux minima liant résiduel en kg/m <sup>2</sup>
	1e couche en l/m <sup>2</sup>	1e couche en kg/m <sup>2</sup>	2ème couche (4/7) en l/m <sup>2</sup>	2ème couche (4/7) en kg/m <sup>2</sup>	
7/10 + 4/7	6,5	9,5	5	7,5	1,0
10/14 + 4/7	7,5	11,0	6	9,0	1,2

Note: Les taux (exprimés en kg/m<sup>2</sup>) de gravillons du tableau sont valables lorsque ces derniers présentent une densité comprise entre 2500 et 3000 kg/m<sup>3</sup>; en dehors de ces limites, ces taux doivent être calculés au départ des taux volumiques en fonction de la densité réelle des gravillons.

### 3.6.4. Enduits bicouches

#### 3.6.4.1 Taux de liant

Si la route présente une pente ou un dévers important, il y a risque d'écoulement vers les points bas dans le cas d'utilisation d'émulsion. On réduira dans ce cas la quantité d'émulsion épandue en première couche et on reportera la différence sur la seconde couche.

#### 3.6.4.2 Dosage en gravillons

Pour les taux de gravillons, il convient de considérer les particularités des matériaux effectivement mis en œuvre: la première couche (gros gravillons) doit être moins dense que pour un enduit simple, sans aucun chevauchement de gravillons, le liant doit rester visible entre les gravillons non jointifs; la seconde couche (gravillons 4/7 ou 2/4) sera par contre généreusement dosée afin d'obtenir une couverture suffisante, après élimination de l'excès non fixé.

Pour cette structure, les dosages à retenir sont:

- première couche: le pouvoir couvrant - 5 à 0 %;
- seconde couche: le pouvoir couvrant + 5 à + 10 %.

#### 3.6.4.3 Taux minima

**Tableau 6** - Taux minima de gravillons et liant résiduel pour enduits bicouches

Type		Granularité	Taux minima gravillons		Taux minima liant résiduel en kg/m <sup>2</sup>
			en litre/m <sup>2</sup>	en kg/m <sup>2</sup>	
2/10	1° couche	7/10	6,5	9,5	0,7
	2° couche	2/4	4	6,5	0,6
4/10	1° couche	7/10	6,5	9,5	0,7
	2° couche	4/7	5	7,5	0,9
4/14	1° couche	10/14	7,5	11,0	0,8
	2° couche	4/7	5	7,5	0,9

Note: Les taux (exprimés en  $\text{kg/m}^2$ ) de gravillons du tableau sont valables lorsque ces derniers présentent une densité comprise entre 2500 et 3000  $\text{kg/m}^3$ ; en dehors de ces limites, ces taux doivent être calculés au départ des taux volumiques en fonction de la densité réelle des gravillons.

### 3.6.5. Enduits à haute performance (ESHP)

**Tableau 7** - Taux minima de gravillons et liant résiduel pour enduits à haute performance

Granularité	Taux minima gravillons		Taux minima liant résiduel
	en litre/m <sup>2</sup>	en kg/m <sup>2</sup>	en kg/m <sup>2</sup>
2/4	7	11	1,5

### 3.6.6. Corrections de dosage de liant

Le taux de base défini par rapport à une situation standard doit être adapté en fonction de différents paramètres, propres à la section à revêtir.

#### 3.6.6.1. Trafic

Le trafic poids-lourds, en général canalisé, tend à mettre en place la mosaïque, voire à favoriser l'enfoncement des gravillons dans le support et la remontée du liant sur les gravillons. Sur les voies correspondantes, un sous-dosage de l'ordre de 10 % est à appliquer.

Enfin, lorsque le trafic est faible, un bon sertissage des gravillons dans le liant n'est réalisé que par un surdosage pouvant atteindre 10 %, les risques de ressuage étant pratiquement inexistant dans ce cas.

#### 3.6.6.2. Support (*texture, porosité, dureté*)

La prise en compte du support est primordiale.

La mesure de la profondeur au sable apporte une indication précieuse pour évaluer la texture du support. Dans le cas de chaussées lisses, il faut envisager une diminution du dosage. Pour des chaussées rugueuses, une augmentation du dosage est recommandée.

Les supports poreux nécessitent davantage de liant, compte tenu du fait qu'ils absorbent une partie du liant épandu qui n'est donc plus disponible pour l'enduit lui-même.

Pour tenir compte du risque d'enfoncement des gravillons dans un support mou (poinçonnable), il est préférable de diminuer les quantités de liant épandues.

### 3.6.6.3. Environnement

Une adaptation du dosage en liant est également à prévoir en fonction de l'ensoleillement et plus spécialement dans le cas de sections ombragées où le mûrissement de l'enduit est moins rapide.

#### Mûrissement de l'enduit

Le mûrissement de l'enduit est la période qui s'étend de la mise sous trafic au moment où il atteint le stade final de son évolution.

Cette période est relativement courte (au plus quelques semaines) lorsque le liant est une émulsion. Dans ce cas, le mûrissement débute au moment de la rupture de l'émulsion et se termine lorsque le liant a atteint sa cohésion maximale.

Dans le cas où le liant est un bitume fluidifié, cette période est nettement plus longue (plusieurs mois, voire des années); du fait de la présence d'huiles dans le liant, les modifications de ses caractéristiques vers un stade final peuvent être considérées comme un processus évolutif.

### 3.6.6.4. Catégorie du liant

C'est le dosage en liant résiduel qui contribue à la bonne tenue dans le temps d'un enduit superficiel. L'adaptation de la viscosité du liant, pour permettre une bonne mise en oeuvre et faciliter la mise en place au jeune âge de l'enduit, doit être prise en compte pour le dosage en liant.

### 3.6.6.5. Epoque de réalisation

Il est tentant, lors de la réalisation d'un enduit en arrière saison, d'appliquer un film de liant plus épais, donc un dosage plus élevé. Cette opération, toujours délicate, est à manipuler avec précaution car on s'expose à des risques de ressuage au printemps suivant. Il est souvent préférable de se contenter d'un ajustement de la viscosité par augmentation de la température du liant lors de l'épandage.

### 3.6.6.6. Cumul des coefficients de correction

Le cumul des différentes corrections de dosage évoquées en fonction des divers paramètres peut conduire à un écart important par rapport au dosage de base.

Il est difficile d'apprécier les limites extrêmes tolérables. En fait, l'expérience a montré que souvent un écart supérieur à 30 – 35 % permettait encore des traitements corrects sur des routes peu circulées. Par contre, en sous dosage, le maximum semble se situer au niveau de -15 à -20 %.

Le tableau 8 permet une approche pour déterminer le correctif global à appliquer au taux de base pour un cas précis d'enduit superficiel à réaliser.

**Tableau 8 - Correctif des dosages en liant en % par rapport au taux de base  
(environnement et support standard)**

Paramètres		Mono MDG	Bicouche	
			Première couche	Seconde couche
Trafic (cf. § 3.1.1)	Faible	+ 10	+ 10	+ 10
	Moyen	0	0	0
	Elevé	- 10	- 10	- 10
Texture du support (cf. § 3.1.1)	Texture normale	0	0	0
	Texture rugueuse	+ 6	+ 5	+ 1
	Texture très rugueuse	+ 12	+ 10	+ 2
	Texture lisse	- 5	- 5	- 5
Porosité du support	Poreux	+ 5	+ 5	0
	Non poreux	0	0	0
Dureté du support (cf. § 3.1.1)	Non poinçonnable	0	0	0
	Poinçonnable	- 7	- 7	0
Environnement	Très ensoleillé	- 5	- 5	- 5
	Ensoleillé	- 2	- 2	- 2
	Normal	0	0	0
	Ombagé	+ 5	+ 5	+ 5
	Très ombagé	+ 10	+ 10	+ 10
Catégorie du liant	Emulsion à 65% de bit.	+ 6	+ 6	+ 6
	Emulsion à plus de 69% de bit.	0	0	0
	Emulsion de bit. Modifié	0	0	0
	Bitume fluidifié	+ 2	+ 2	+ 2
	Bit fluidif. Modifié	0	0	0
Epoque de réalisation	Avril / août	0	0	0
	Sept / octobre	+ 5	+ 5	+ 5

## 4 MATERIEL

L'exécution des enduisages requiert un matériel spécifique pour les quatre phases principales de la mise en œuvre: l'épandage du liant, l'épandage des gravillons, le compactage et le balayage des gravillons excédentaires.

### 4.1. Epanduses de liant

Seules sont décrites ici les épanduses dont le bitume est le constituant principal du liant; les épanduses pour ESHP, dont le liant principal est une résine, requièrent un matériel très spécifique, qui n'est pas décrit ici.

#### 4.1.1. La citerne

L'épanduse est constituée pour l'essentiel d'une citerne calorifugée, portée par un camion automobile, à même de circuler à faible vitesse. La citerne doit comporter un système de chauffage permettant de maintenir le liant à la température d'épandage. En cas d'utilisation de liant anhydre (fluidifié), il est préférable d'utiliser un chauffage indirect par huile thermique qui donne une meilleure répartition thermique. Les citernes sont équipées d'indicateurs de niveau et de température, de détecteur de niveau minimal et maximal, et de thermostat. Ces matériels doivent être conformes à la réglementation en vigueur sur le transport des matières dangereuses (actuellement, classe 9 pour des produits transportés à des températures supérieures à 100°C, et classe 3 pour des produits transportés à des températures supérieures à leur point d'éclair).

L'emploi d'un filtre adéquat (tamis) lors de livraison de liant et le rinçage soigneux des citernes lors d'un changement de liant sont des mesures de précautions utiles et rentables.

Le dispositif de filtration doit être vérifié très régulièrement afin de prévenir tout colmatage pouvant entraîner un sous-dosage.

#### 4.1.2. La rampe et les becs d'épandage

L'épandage du liant s'effectue grâce à une rampe de largeur ajustable, pouvant aller jusqu'à 6 m. La rampe est munie de becs dont les caractéristiques déterminent la forme du jet de liant. Actuellement les jets ont le plus souvent la forme de lames plates, trois jets se recouvrant au sol (cf. § 5.3.2). Seules les lames plates peuvent assurer une distribution transversale satisfaisante. Les gicleurs doivent être adaptés à la viscosité du liant.

#### 4.1.3. La pompe doseuse

L'alimentation de la rampe est assurée par une pompe qui y fait circuler le liant chaud avec retour vers la citerne. Cette pompe, en général du type doseuse volumétrique, équipe pratiquement toutes les épanduses modernes. Les épanduses modernes sont équipées d'un dispositif électronique qui permet un pilotage instantané du dosage et l'asservissement du débit d'épandage à la vitesse du véhicule, donnant donc la possibilité de maîtriser tous les paramètres d'épandage dans toute la gamme d'utilisation requise (p.e. dosage constant et déterminé de liant).

L'ouverture ou fermeture des becs est commandée à distance - en simultanéité - ce qui permet des coupures et des reprises nettes sans bavures ou suintements malpropres.

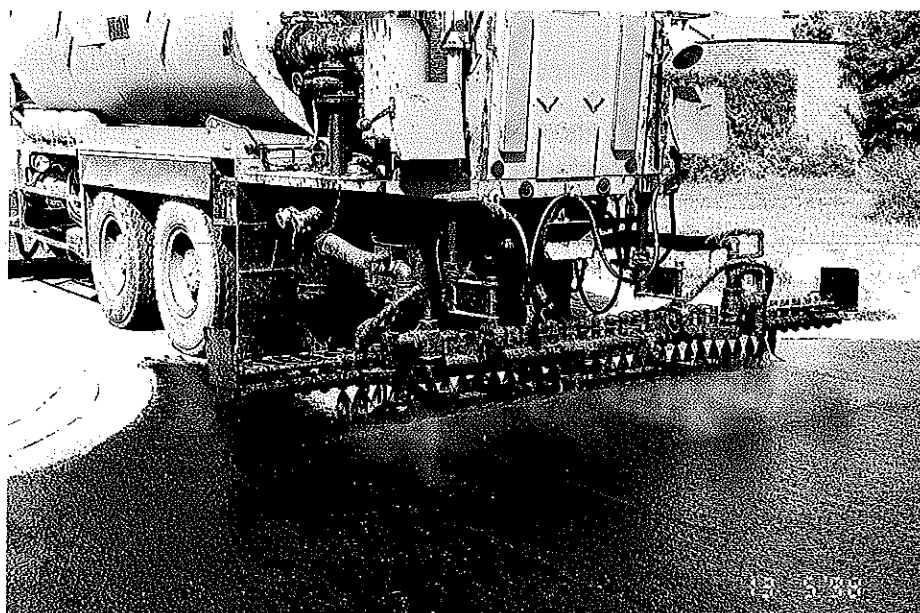
Les bonnes performances d'une épandeuse résultent donc de la bonne conception de cet ensemble rampe-becs-pompe ainsi que du savoir-faire de l'opérateur de la machine qui sait prendre en considération et ajuster une série de facteurs: vitesse du véhicule, régime de la pompe, largeur utile de la rampe, (ou nombre de becs), hauteur de la rampe au-dessus du sol (cf. § 5.3.2), température du liant (qui détermine sa viscosité; cf. § 5.3.1).

La plupart des épanduses peuvent convenir pour tous les types de liant et pour les taux usuels des divers types d'application pourvu qu'elles soient munies de l'équipement adéquat (pompe et gicleurs adaptés).

Les photos 4 et 5 illustrent une épandeuse de liant et un détail de la rampe d'épandage.



*Photo Breining s.a.r.l.*



*Photo CRR 3836/13*

**Photos 4 et 5 - Epannage de liant**



## 4.2 Gravillonneurs

(Certaines parties de ce paragraphe sont tirées de la réf. 29).

On distingue les gravillonneurs portés et les gravillonneurs automoteurs.

### 4.2.1. Les gravillonneurs portés

Afin de ne pas circuler directement sur le liant, ce type de gravillonneur circule toujours en marche arrière (voir photos 6 et 7).



*Photo Emubel s.a.*

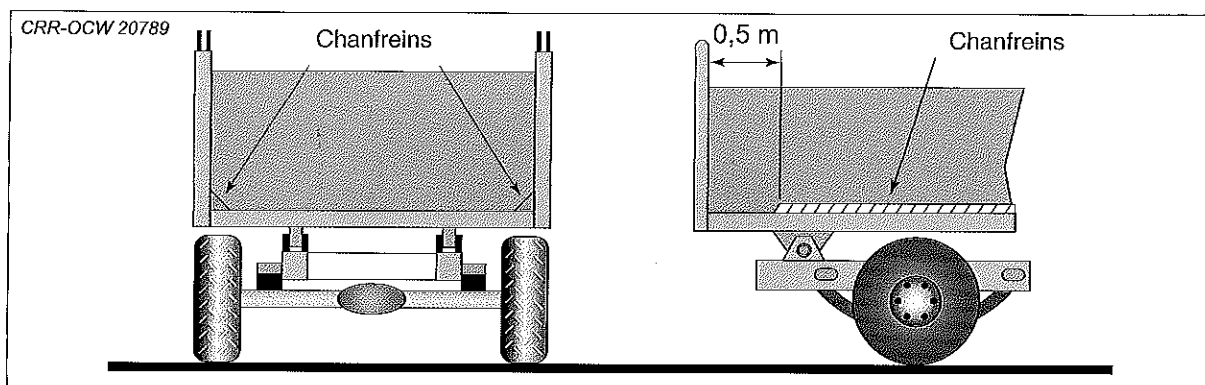


*Photo Emubel s.a.*

**Photos 6 et 7** - Epannage de gravillons au moyen d'un gravillonneur opérant en marche arrière

Le gravillonneur porté fixé à la place du hayon arrière de la benne comporte un dispositif de distribution des gravillons qui doit permettre les réglages du dosage et de la largeur d'épandage. Il s'adapte en général sur tout camion-benne, moyennant un porte-à-faux garantissant une hauteur de benne suffisante par rapport au sol en position levée.

Il faudra toutefois veiller à enlever les chanfreins situés aux extrémités de la benne des camions servant au transport d'enrobés de manière à disposer de toute la largeur disponible (figure 3).



**Figure 3** - Suppression des chanfreins en fin de benne (réf. 34)

Comme illustré aux figures 4 et 5 (cf. pages 35 et 36), les matériels existants comportent tous un diffuseur à ailerons repliables servant d'élargisseurs, afin d'éviter aux roues avant du véhicule de rouler sur le bitume frais lors de l'épandage. Ce diffuseur, qui assure la qualité de la répartition transversale, peut être plat ou galbé. Il est complété par un contre-diffuseur qui permet de diminuer considérablement le risque de peignage.

En cours de gravillonnage, la benne est inclinée d'un angle de 30 à 40° par rapport à l'horizontale. Il est recommandé que l'inclinaison de la benne puisse être commandée à partir du poste de conduite situé à l'arrière du véhicule.

Le gravillonneur peut comporter une écluse afin d'éviter toute surcharge sur la partie arrière du châssis. En outre, il est conseillé que le gravillonneur soit équipé d'un caisson de décompression afin d'assurer un approvisionnement uniforme du rouleau diffuseur. La largeur de l'épandage est généralement limitée à 3.20 m.

Certains équipements possèdent un poste de conduite inclinable par vérin hydraulique, de manière à le garder horizontal quel que soit le profil longitudinal de la chaussée. Dans ce cas, le diffuseur est solidaire du poste de conduite et garde une inclinaison constante par rapport à la verticale.

#### **4.2.1.1. Les gravillonneurs portés à rouleau diffuseur (figure 4)**

Le rouleau diffuseur du gravillonneur porté est illustré à la photo 8.

La distribution des gravillons est effectuée en fond de benne par la rotation d'un rouleau cylindrique lisse, généralement de petit diamètre ( $\leq 250$  mm). Le flot de gravillons s'écoule par gravité. Le réglage de la largeur d'épandage est effectué en sélectionnant l'ouverture ou la fermeture de trappes commandées individuellement par un dispositif électropneumatique.

Le débit est obtenu par le réglage de la hauteur de ces trappes sur le fond de benne, mais il varie également en fonction de l'inclinaison de la benne. Il est à noter que le débit des gravillons n'est pas proportionnel à la vitesse de rotation du rouleau. Cette dernière, de l'ordre de 60 à 80 t/min, est liée à la vitesse du camion.

Le dosage est fonction du débit des gravillons et de la vitesse du camion. Avec ce type de matériel, il est donc indispensable de travailler à inclinaison de benne constante (ou de corriger le débit) et à la vitesse du véhicule avec laquelle le dosage, en début de chantier, a été déterminé.



Photo CRR 3836/15

Photo 8 - Rouleau diffuseur d'un gravillonneur

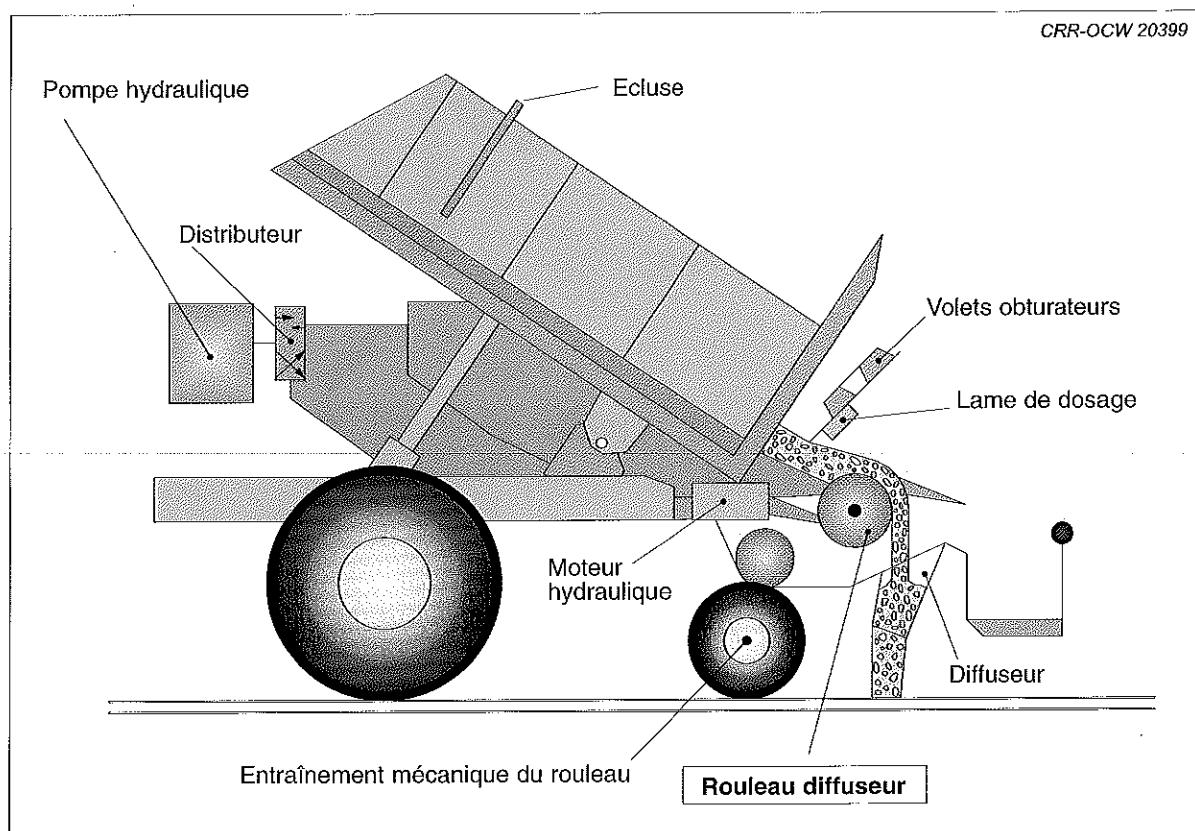


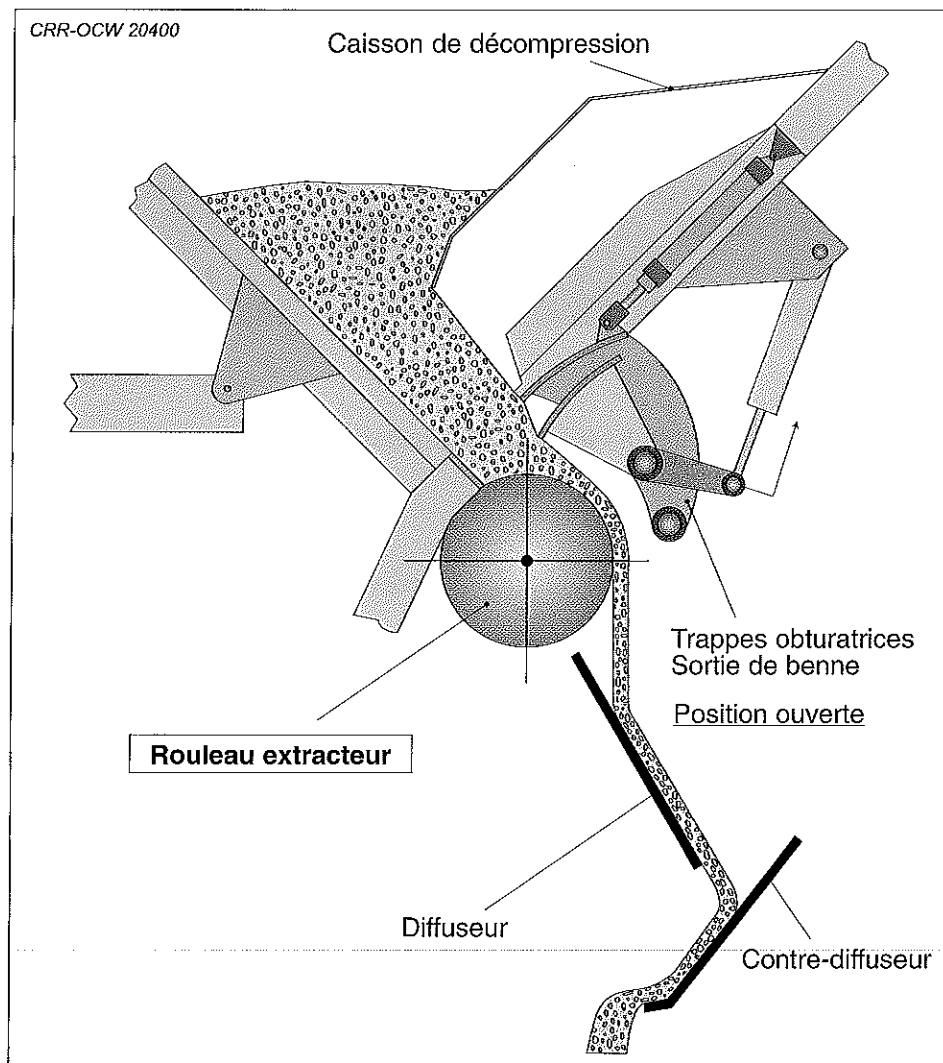
Figure 4 - Gravillonneur à rouleau diffuseur

Il permet d'obtenir:

- une régularité transversale satisfaisante;
- une régularité longitudinale satisfaisante dans une plage de vitesse et pour une inclinaison de benne constante.

Etant donné sa grande sensibilité à des facteurs tels que l'inclinaison de la benne et la vitesse du camion, l'emploi de ce type de gravillonneur n'est pas recommandé pour les travaux de quelque importance; par contre, il convient parfaitement pour les travaux de réparations.

#### 4.2.1.2 Les gravillonneurs portés à rouleau extracteur (figure 5)



**Figure 5** - Gravillonneur à rouleau extracteur

Ce type de matériel diffère du gravillonneur porté à rouleau distributeur par (figure 6):

- le rouleau qui doit avoir un diamètre supérieur à 300 mm;
- la lame de débit qui doit être placée dans le plan de la génératrice supérieure du rouleau.

Le débit est obtenu par le réglage de la hauteur du passage entre le rouleau et une lame (soit unique sur toute la largeur, soit constituée de plusieurs trappes); dans ce système, le taux d'épandage est proportionnel à la vitesse du camion. L'ouverture de cette lame de dosage doit être au moins égale à trois fois la dimension du plus gros gravillon (règle des 3D) et inférieure à l'ouverture conduisant à l'écoulement naturel des gravillons, le rouleau étant à l'arrêt.

Il permet d'obtenir:

- un débit des gravillons indépendant de l'inclinaison de la benne dans la plage de variation de 30 à 40° et proportionnel à la vitesse de rotation du rouleau, dans la plage de 15 à 40 tr/min, pour une vitesse du véhicule dans la plage de 3 à 6 km/h;
- une régularité transversale satisfaisante;
- une régularité longitudinale généralement excellente.

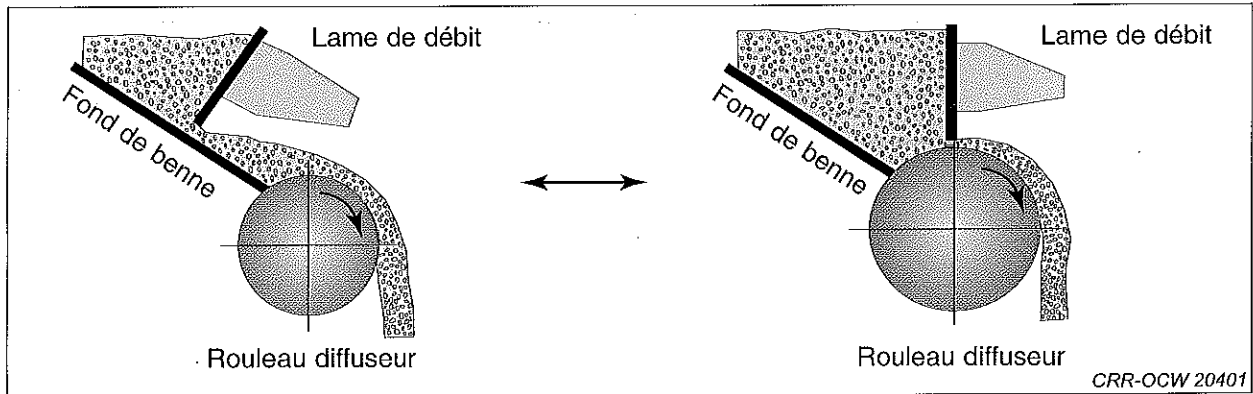


Figure 6 - Comparaison des 2 systèmes de gravillonneurs portés

#### 4.2.2. Les gravillonneurs automoteurs (figure 7)

Le gravillonneur automoteur est illustré aux photos 9 et 10.

Ils permettent d'épandre les gravillons en une seule passe sur au moins une voie de circulation. L'épandage est effectué en « marche avant ». Les engins ont une configuration semblable à celle des finisseurs: les gravillons sont transférés de la trémie arrière du camion vers la trémie avant du gravillonneur au moyen de convoyeurs. Le poste de pilotage est situé, le plus souvent, à l'avant.



Photo CRR 3856/4A

Photo 9 - Epandage de gravillons au moyen d'un gravillonneur automoteur opérant en marche avant

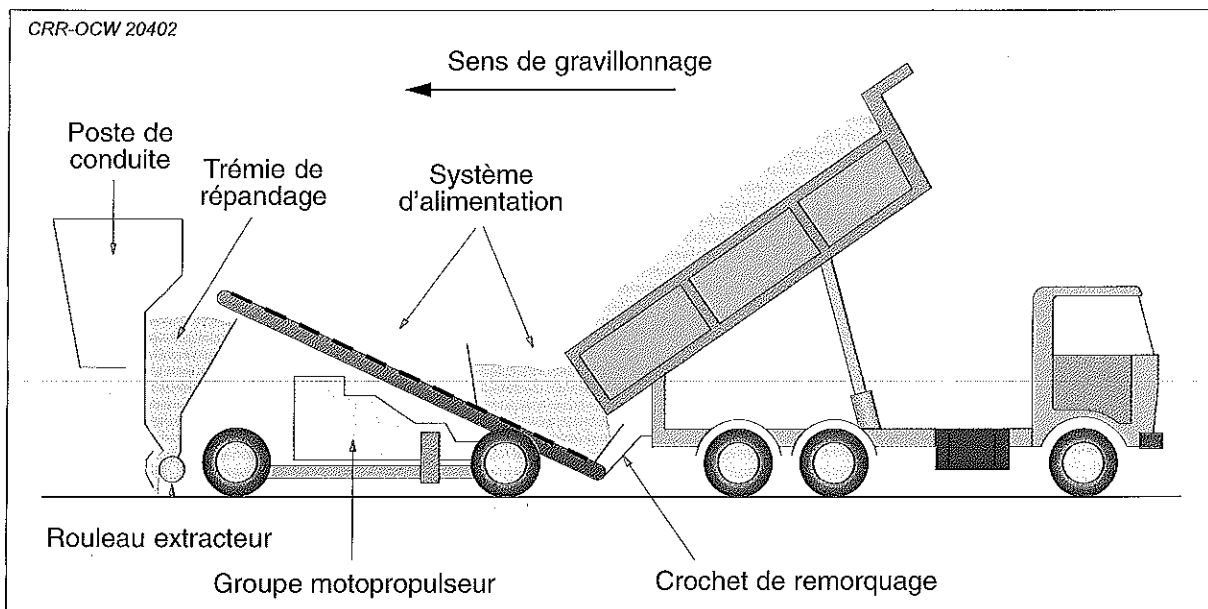


Photo CRR 3856/9A

**Photo 10** - Alimentation d'un gravillonneur automoteur opérant en marche avant

Les gravillonneurs automoteurs équipés pour la réalisation des enduits se distinguent de ceux destinés au cloutage des enrobés, entre autres, par la vitesse de rotation du rouleau extracteur.

Le dosage ne dépend pas du niveau de remplissage de la trémie d'épandage.



**Figure 7** - Gravillonneur automoteur

Ils permettent d'obtenir:

- une régularité transversale satisfaisante;
- une régularité longitudinale excellente;
- un dosage constant quelle que soit la vitesse d'avancement du gravillonneur dans une plage de 3 à 6 km/h.

Les caractéristiques des divers types de gravillonneurs sont résumées dans le tableau ci-dessous:

**Tableau 9** - Caractéristiques des divers types de gravillonneurs

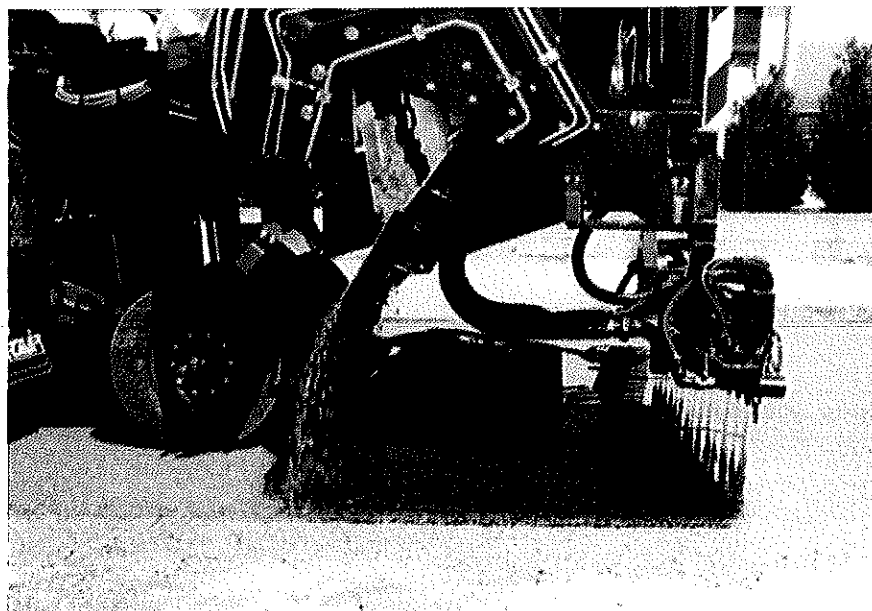
Type de gravillonneur		Régularité transversale	Régularité longitudinale $\leq 50$ cm	Influence sur le dosage	
				Inclinaison Benne	Vitesse d'avancement du véhicule
Gravillonneur porté	À rouleau distributeur	5 à 10 %	5 à 15 %	20 à 40 %	60 à 80 %
	À rouleau extracteur	5 à 10 %	$\approx 5$ %	$\leq 5$ %	$\leq 5$ %
Gravillonneur automoteur		5 à 10 %	$\approx 5$ %	Sans objet	$\leq 5$ %

### 4.3 Les matériels d'épandages simultanés

Ce type de matériel est illustré aux photos 11 et 12.

Il s'agit de l'association d'une épandeuse de liant et d'un gravillonneur rassemblés sur un même porteur.

Ces machines permettent d'épandre simultanément le liant et les gravillons; elles favorisent ainsi le mouillage car la viscosité initiale du liant n'est pas modifiée du fait du faible laps de temps entre l'épandage du liant et celui des gravillons; ces machines permettent donc la réalisation d'enduits dans des zones de température en limite basse ( $5^{\circ}\text{C}$ ).



*Photo Secmair*

**Photo 11** - Machines combinées: épandage de liant et de gravillons

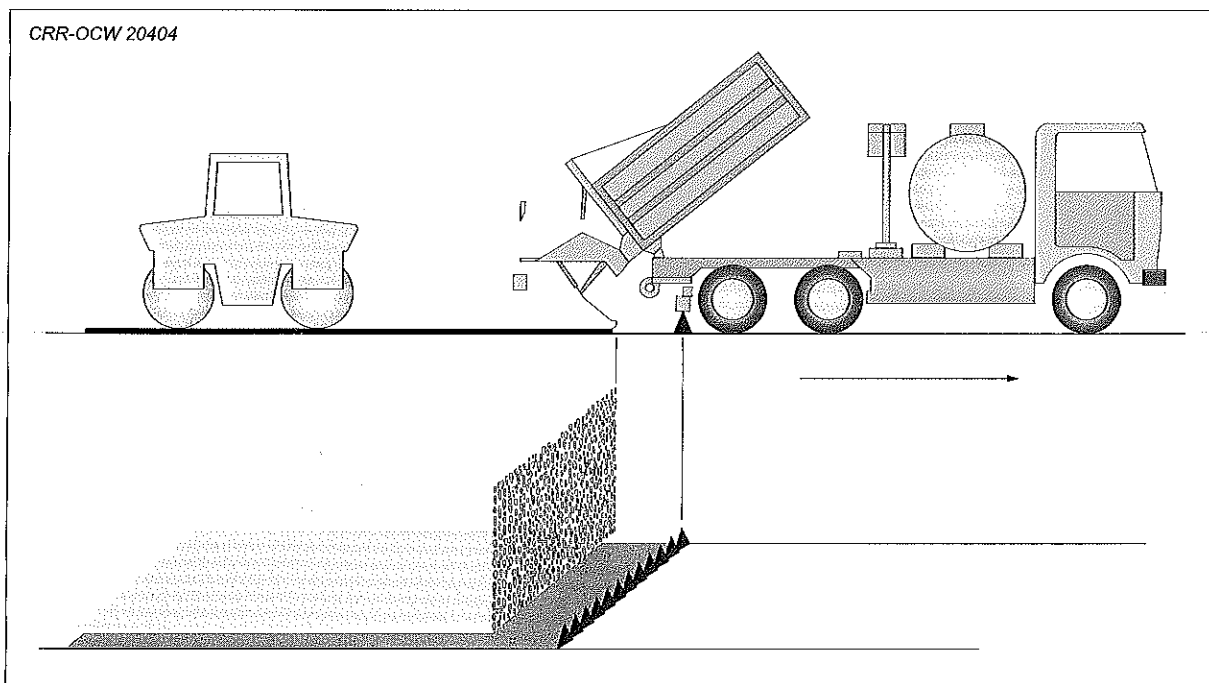


Photo Rincheval

**Photo 12** - Machines combinées: épandage de liant et de gravillons (réf. 35)

Toutefois, les volumes de stockage en liant et gravillons limitent l'application sur des sections importantes. Ils sont par contre parfaitement indiqués pour les travaux de réparations.

Il existe du matériel d'épandage de ce type fonctionnant soit en marche avant (figure 8) soit en marche arrière (figure 9).



**Figure 8** - Machine d'épandages simultanés fonctionnant en marche avant



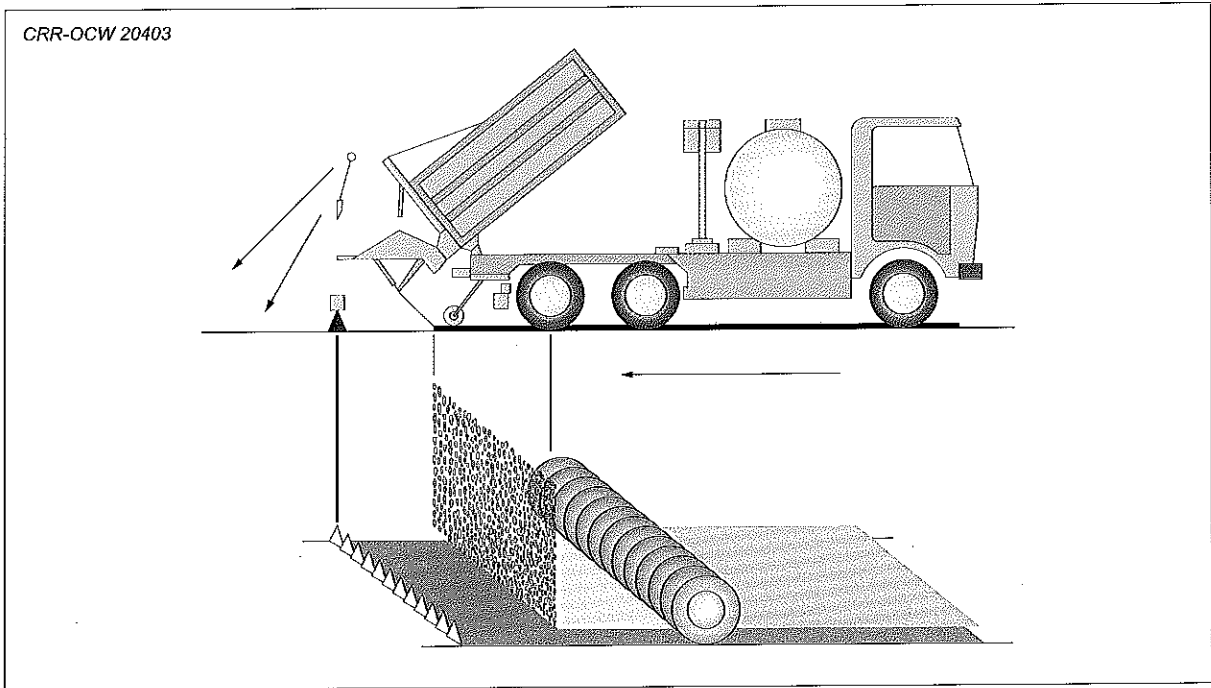


Figure 9 - Machine d'épandages simultanés fonctionnant en marche arrière

## 4.4 Compacteurs

Différents types de compacteurs sont actuellement utilisés (voir à ce sujet § 5.5).

### 4.4.1 Les compacteurs à pneumatiques

Ces compacteurs possèdent en général 7 à 9 roues, chargées de 1.5 à 3 tonnes par roue. On veillera à avoir une pression de gonflage des pneumatiques aussi élevée que possible (de l'ordre de 0.7 à 0.9 Mpa).

### 4.4.2 Les cylindres à jantes lisses

Leur usage est réservé aux enduits réalisés par temps chaud sur support plan (voir § 5.5).

Ils doivent être utilisés sans vibrations (2 à 3 passes) et avoir une charge par centimètre de génératrice < 30 kg, ainsi qu'une largeur aussi réduite que possible.

#### 4.4.3 Les cylindres mixtes pneus-bille

Ils doivent être utilisés sans vibrations (2 à 3 passes). La bille doit avoir une charge par centimètre de génératrice < 30 kg.

Ce matériel doit cependant être adapté aux travaux d'enduisage (rapidité suffisante pour pouvoir suivre l'exécution de l'enduit).

### 4.5 Balayeuses – Aspirateurs

L'opération de balayage est nécessaire:

- avant l'épandage du liant, afin de nettoyer le support;
- après l'exécution de l'enduit, afin d'éliminer les rejets de gravillons.

Différents types de matériels peuvent être utilisés.

#### 4.5.1 Les balayeuses mécaniques

Avec ce type de balayeuses (non aspiratrices), les gravillons sont rassemblés sur le côté de la chaussée où ils doivent ensuite être enlevés.

En rase campagne, ce type de balayeuses est bien adapté. Il en existe deux modèles:

- **les tractées**, robustes, peuvent être mises en service rapidement derrière le véhicule remorqueur. Elles sont peu maniables;
- **les semi-portées**, généralement adaptées sur des tracteurs agricoles, présentent une bonne maniabilité. Les conditions de travail sont contraignantes et salissantes.

#### 4.5.2. Les balayeuses aspiratrices

Elles sont essentiellement destinées aux travaux nécessitant un ramassage de gravillons. Elles peuvent être équipées d'un système de pulvérisation d'eau afin de limiter le soulèvement des poussières.

Le principe de fonctionnement consiste à ramener les gravillons au centre de la machine où ils sont ensuite aspirés.

Il s'agit d'un équipement devenu indispensable pour l'exécution d'un enduisage sur route à forte circulation ou en agglomération.

### 4.6 Autre matériel

On citera pour mémoire les camions pour le transport des gravillons et une grue ou pelle mécanique pour le chargement de ceux-ci.

## 5 EXECUTION

Un des facteurs essentiels de réussite d'un enduit réside dans la qualité de l'équipe qui l'exécute. Cette équipe doit avoir l'habitude de réaliser ensemble ce genre de travail, et le conducteur de l'entreprise ainsi que l'épandeur du liant seront des spécialistes avertis de l'enduisage.

Ce chapitre aborde les aspects suivants: la préparation de la chaussée, les conditions atmosphériques, l'épandage du liant, le gravillonnage, le compactage, le balayage, les mesures de sécurité et la signalisation.

### 5.1 Préparation de la chaussée

Le revêtement à enduire doit évidemment présenter un état général suffisamment bon pour justifier l'enduisage, mais dans la plupart des cas, des travaux préalables seront cependant nécessaires pour:

- rétablir l'uni (orniérage par ex.);
- réparer les flaches et les nids de poules;
- traiter les zones fissurées et poreuses.

Ces interventions devraient idéalement être effectuées l'année précédant l'enduisage **ou au moins 15 jours avant celui-ci**, afin de permettre une action suffisante du trafic sur les zones réparées.

Complémentairement, on veillera à enlever les marquages thermoplastiques existants sur le revêtement à enduire, car ceux-ci pourraient empêcher l'adhérence de l'enduit.

#### **5.1.1. Traitement des zones déformées (problèmes de planéité)**

L'opération consiste à éliminer les défauts apparaissant à la surface des revêtements, sous forme d'ornières ou de tôles ondulées inférieures à 2 cm, soit par fraisage, soit en mettant localement en oeuvre un RBCF.

Lorsque les dénivellations sont plus importantes, des moyens plus lourds doivent être utilisés: par exemple fraisage local de la couche déformée et remplacement par une couche d'enrobés à chaud.

#### **5.1.2. Réparation des flaches et nids de poule**

L'opération consiste à enlever le revêtement au droit des flaches et nids-de-poule et à mettre en oeuvre une ou plusieurs couches d'enrobés en remplacement de celui-ci, de manière à obtenir une nouvelle surface routière qui s'intègre complètement dans le profil du revêtement existant.

Le choix des matériaux de réparation tiendra compte des exigences de sécurité de la route (en fonction de la grandeur de la réparation et de la durée entre l'exécution de la réparation et la pose de l'enduit).

L'usage d'enrobés à chaud est recommandé; en effet, avec les enrobés à froid, il y a risque d'instabilité de l'enduit, notamment suite au piégeage de fluidifiants éventuels contenus dans l'enrobé à froid.

#### **5.1.3. Traitement de zones poreuses ou fissurées**

Si la chaussée est, par endroits, très poreuse ou finement fissurée, il convient de traiter préalablement ces zones par application d'émulsion cationique de bitume pur ou de bitume aux élastomères suivie d'application de gros sable de concassage (0/2) ou de gravillons concassés de calibre 2/4 ou 4/7 mm.

Cette application sera réalisée à la rampe dans tous les cas où la surface s'y prête; sinon on opérera à la lance, mais on veillera alors à distribuer l'émulsion de manière uniforme et sans excès, sous peine d'abîmer le profil de la chaussée. Le taux d'épandage de l'émulsion est fonction de l'état du support. Ce type de traitement peut se faire juste avant la réalisation de l'enduit.

D'autres moyens doivent être utilisés lorsque le revêtement présente de larges fissures (> 5 mm); on utilisera par ex. dans ce cas des masses de scellement bitumineuses; lorsqu'il s'agit de plusieurs fissures rapprochées, on rabotera localement le revêtement.

#### **5.1.4. Nettoyage de la chaussée**

Il faut que la chaussée à enduire soit parfaitement propre. On éliminera par raclage ou brossage tous débris végétaux ou animaux, terre, plaques argileuses, etc. et toute la superficie de la chaussée sera traitée à la brosse mécanique.

On portera une attention toute particulière à la propreté des bords de la chaussée. Les débris de toutes sortes ont tendance à s'y rassembler et à s'y agglomérer; il est souvent difficile de les éliminer complètement. Il faut cependant le faire, car, si l'on répand du liant sur une couche de débris (sable, argile, terre), on constate rapidement sur les bords une désagrégation de l'enduit qui peut gagner les voies à forte circulation.

Immédiatement avant l'enduisage, un dernier passage de la brosse mécanique ou de l'aspirateur éliminera les poussières encore présentes.

#### **5.1.5. Protection des endroits non enduits**

Les zones à ne pas enduire, telles que les plaques ou trappillons métalliques, les signalisations au sol, etc. seront recouvertes provisoirement de feuilles de carton fixées par collage, de feuilles de plastique autocollantes ou encore de sable.

## **5.2 Conditions atmosphériques**

Les enduisages sont réalisés entre avril et octobre, mais pour les travaux avec des liants visqueux tels que les bitumes modifiés fluidifiés, cette saison est plus réduite (1<sup>er</sup> mai au 15 septembre). Il faut en effet que le temps soit favorable le jour même de l'enduisage, mais il est également indispensable que l'enduit jouisse ensuite d'une période suffisante de temps chaud afin que le liant évolue comme prévu et que la mosaïque puisse bien se consolider sous l'action du trafic.

La température du support doit normalement se situer à 10 °C minimum durant la journée; les petits matins froids et humides retardent le travail. Il faut en effet que la chaussée soit suffisamment sèche pour entamer l'enduisage.

L'enduisage sur chaussée mouillée durant ou après la pluie, est évidemment exclu; l'eau de pluie stagne dans les dénivellations et provoque inmanquablement des dégradations inacceptables, car l'eau empêche l'adhésivité du liant au support.

Il ne faut toutefois pas attendre un séchage intégral et parfait si les conditions atmosphériques sont favorables: une température suffisante et surtout un vent léger à moyen mènent à un séchage rapide du support.

Remarquons que les journées très chaudes (canicule) sont également peu favorables pour les enduits sur routes à circulation importante, car l'ouverture à la circulation constitue alors une opération délicate, qui doit souvent être postposée de plusieurs heures, vu les risques d'arrachage des gravillons, avec destruction de la mosaïque, par suite d'une insuffisance de durcissement du liant.

Un orage survenant juste après la mise en oeuvre de l'enduit peut provoquer une remise en émulsion partielle du liant, son écoulement ou un délavage des gravillons. Certaines dispositions doivent donc être prises rapidement, afin de sauvegarder la section réalisée:

- soustraire le plus rapidement possible l'enduit à la circulation;
- en fin d'orage, attendre l'écoulement total des eaux de ruissellement;
- épandre un dope d'adhésivité;
- attendre le séchage des gravillons;
- compacter à nouveau;
- remettre en circulation à très faible vitesse (besoin d'une voiture pilote).

### 5.3. Epandage du liant

Avant toute application de liant, il est indispensable de s'assurer de la présence effective des gravillonneurs et de limiter la surface enduite de liant à la quantité de gravillons qui peut être épandue sans attente. L'avance du liant épandu par rapport aux gravillons ne peut excéder 10 m.

Il importe que le liant soit uniformément réparti sur la chaussée, tant longitudinalement que transversalement. Toute irrégularité se marquera par l'apparition de défauts dans l'enduit.

Un liant porté à la température adéquate, une épandeuse bien réglée et entretenue ainsi qu'un opérateur expérimenté sont trois conditions indispensables à la réussite d'un enduit.

#### 5.3.1 Température d'épandage

Au moment de l'épandage, le liant doit avoir une viscosité adéquate pour être pompé, dosé et distribué par le système de rampe et de pompe de l'épandeuse. Cette viscosité étant liée à la température, il importe donc de vérifier au thermomètre de la citerne si cette température est effectivement observée et dans la négative de faire réchauffer le liant jusqu'à ce que la viscosité voulue soit obtenue. Des températures trop élevées sont inutiles et souvent même nuisibles car elles peuvent provoquer des modifications, sinon une altération des qualités du liant. En outre, une viscosité trop faible peut entraîner le coulage du liant vers les point bas. Au contraire, une baisse de température du liant va entraîner une augmentation de sa viscosité et donc une diminution de l'angle au sommet des becs qui peut se traduire par un peignage de l'enduit.

La température du liant doit également être adaptée en fonction de la période d'épandage. En effet, la tendance actuelle est d'augmenter la température du liant à l'épandage par temps froid (cf. § 3.4.4).

La densité du produit à la température d'épandage entre dans la détermination du dosage requis. Il est donc nécessaire de connaître l'abaque densité/température pour le produit utilisé. Cette valeur, très souvent ignorée, entraîne des erreurs parfois importantes sur le dosage appliqué.

Des températures d'épandage recommandées pour les liants usuels sont reprises au tableau 10.

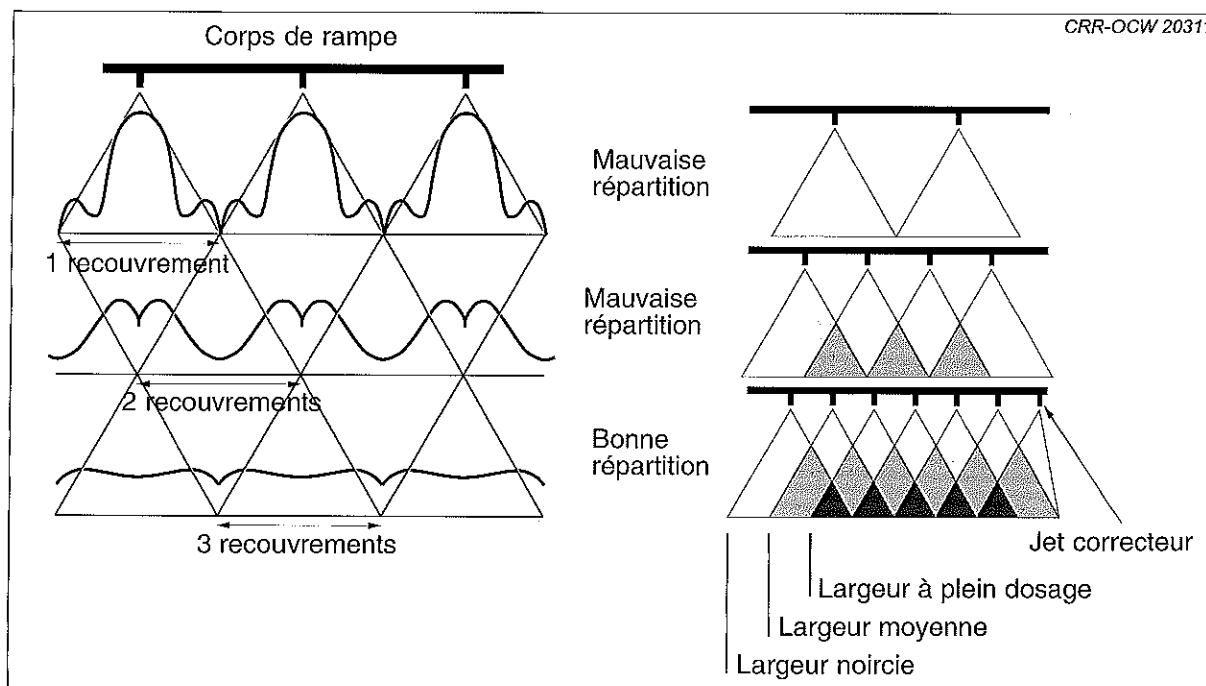
**Tableau 10 - Températures d'épandage recommandées pour les liants usuels**

Bitume fluidifié	Emulsions de bitume
<p><b>Entre 140 et 160°C:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bitume fluidifié à base de bitume pur: 140 à 150 °C</li> <li>• Bitume fluidifié à base de bitume mod.: 150 à 160°C</li> </ul>	<p><b>Entre 50 et 75 °C</b> (règle approximative: temp. en °C= teneur en bitume de l'émulsion; ceci étant valable pour des pourcentages jusqu'à 65%)</p>

### 5.3.2. Régularité transversale

La régularité transversale d'épandage est, pour le principal, fonction du bon réglage de la rampe: calibre et position des becs, hauteur de la rampe, fonctionnement correct des vannes ou clapets, positionnement des allonges, etc.

Pour obtenir une régularité transversale d'épandage satisfaisante dans la section courante de l'épandage, il est nécessaire de maintenir la rampe à une hauteur qui garantisse le recouvrement au sol de trois lames de liant (figure 10).



Il est conseillé d'utiliser des jets correcteurs de débit en extrémité de rampe, afin de conserver un taux d'épandage correct en rive. Ces jets correcteurs de débit ont pour objectif de fournir au minimum un double recouvrement de la surface en rive.

**Il est possible d'obtenir le même effet en rive par le placement latéral d'une tôle qui renvoie le liant du dernier jet.**

Sur les routes à plusieurs voies de circulation, la largeur d'épandage doit être adaptée à la largeur de ces voies. On évitera à tout prix de situer un joint ou raccord dans la frayée des roues.

Dans le but de garantir une bonne régularité transversale d'épandage du liant, il est primordial de contrôler le matériel d'épandage par:

- le calibrage au banc d'essai (cf. § 7.3.);
- un contrôle in situ de la bonne répartition transversale du liant (cf. § 7.2.2.).

### 5.3.3. Taux d'épandage - Régularité longitudinale

L'alimentation de la rampe au moyen d'une pompe doseuse volumétrique asservie à la vitesse d'avancement du véhicule garantit la régularité longitudinale de l'épandage.

Il convient d'épandre le liant au taux prescrit et de maintenir ce taux tout au long du chantier. Toutefois la mise en route ou la réalisation du joint transversal de reprise sont des phases critiques. Comme il importe que la vitesse de l'épandeuse soit constante, il est indispensable de réaliser un

« départ lancé ». Pour réaliser ce départ lancé, l'épandage ne peut être repris avant que le liant épandu ait été entièrement recouvert de gravillons.

L'épandeuse recule alors, sur la partie grenailée, de la distance nécessaire pour qu'après mise en route elle ait sa vitesse de régime à l'instant où elle franchit la limite de la section enduite. A cet instant l'épandage doit pouvoir débiter instantanément, soit par commande automatique ou manuelle. L'arrêt d'épandage doit également être propre et net.

La régularité longitudinale de l'épandage peut être contrôlée au moyen de l'essai décrit au § 7.2.1.

#### **5.3.4. Cas particulier de l'enduit bicouche**

L'exécution de la seconde couche de l'enduit doit suivre la réalisation de la première d'aussi près que possible. La 2ème couche de liant est posée après le séchage des gravillons de la première couche, c.à.d. après rupture de l'émulsion de la première couche. Il est donc recommandé d'utiliser pour cette seconde couche un deuxième train d'épandage de liant.

### **5.4. Epandage des gravillons**

Lors de l'épandage, les gravillons doivent être aussi secs que possible et non poussiéreux.

#### **5.4.1. Largeur de gravillonnage**

Le mode idéal de gravillonnage consiste à épandre les gravillons sur une largeur correspondant exactement à la largeur du liant épandu, cette dernière largeur étant déterminée par la largeur de la chaussée (à traiter en un seul ou généralement deux passages de l'épandeuse).

L'exécution d'enduits sur chaussées d'autoroutes, ou autres voies importantes sera toujours réalisée selon ce mode opératoire; pour ce type de voirie, la mise en œuvre d'une gravillonneuse automotrice, avec trémie de stockage est recommandée.

Dans la majorité des cas, la largeur des gravillonneuses portées ou attelées est inférieure à la largeur de la rampe à liant et le répannage des gravillons doit alors s'effectuer en deux passages, au mieux à l'aide de deux véhicules travaillant en échelon.

Une équipe entraînée peut ainsi atteindre un résultat très acceptable. Le gravillonnage manuel ne sera toléré que pour réaliser des corrections ou pour traiter des surlargeurs locales de la chaussée.

En cas de réalisation en deux passes avec joint longitudinal, la largeur d'épandage des gravillons sera inférieure de 10 cm à celle de l'épandage du liant:

#### **5.4.2. Timing et cadences**

L'épandage des gravillons doit suivre au plus près la mise en œuvre du liant afin de permettre un bon mouillage des gravillons. Ce délai doit être particulièrement réduit (inférieur à 30 sec) dans le cas d'utilisation de liants visqueux (liants modifiés) et d'émulsion de bitume.

Il faut toujours garder à l'esprit que la quantité de gravillons à épandre est 8 à 12 fois plus importante que celle correspondante de liant. La cadence du chantier dépend donc des moyens d'approvisionnement des gravillons.

Compte tenu du matériel de gravillonnage utilisé et de la superficie à enduire, il convient donc de déterminer le nombre nécessaire et suffisant de camions pour assurer un avancement de l'enduisage

sans heurts. Dès que la superficie à traiter atteint une certaine importance la constitution d'un stock de gravillons à proximité du chantier est recommandée.

Dans le cas d'enduits comprenant plusieurs couches de gravillons, la mise en oeuvre de la 2ème couche suivra le plus rapidement possible celle de la première; il est donc recommandé, dans ce cas d'utiliser un deuxième train d'épandage.

#### 5.4.3. Dosage

Comme pour le liant, le bon dosage en gravillons est un gage de réussite de l'enduit.

Pour les structures utilisant plusieurs couches de gravillons, il faut particulièrement veiller à ce que la première couche soit bien dosée (sans excès) et parfaitement répartie.

Le gravillonnage doit être uniforme, régulier et au taux correct:

- dans le cas des enduits simples, le taux correct correspond à l'obtention d'une mosaïque serrée, monocouche, après compactage;
- dans le cas des enduits bicouches et monocouches à double gravillonnage, le taux correct de la couche inférieure a un rôle différent: les gros gravillons doivent former une couverture plus lâche (gravillonnages ouverts) laissant voir le liant entre les grains et excluant tout chevauchement ou superposition de gravillons.

Le taux de gravillonnage peut être contrôlé à l'aide de l'essai décrit au § 7.2.3.

Les photos 13 à 16 montrent un exemple d'échelle à quatre pas établie pour une fourniture déterminée de gravillons 10-14mm porphyre. Pratiquement il est recommandé de prévoir six gradations, ou plus, pour constituer une échelle et de présenter les photos à l'échelle 1/1.

#### Remarque

La régularité du gravillonnage peut ne pas être obtenue lorsque le phénomène de moutonnement se produit.

#### **Le moutonnement**

Le phénomène de moutonnement se traduit par une irrégularité longitudinale de l'épandage des gravillons. Ce phénomène est indépendant du type de rouleau utilisé. Il peut être dû à un des facteurs suivants:

- une vitesse irrégulière du camion;
- le type de suspension du camion;
- une répartition inégale des charges dans la benne lors de l'épandage.

Actuellement, ce phénomène est en régression grâce à l'avancée technologique (suspension pneumatique, rouleau d'extraction équilibré).

#### 5.4.4. Détails d'exécution

Il s'impose de balayer les gravillons tombés en dehors de la zone enduite, avant le répandage de la bande contiguë afin de réaliser un raccord net.

Tout comme pour le liant, l'exécution des raccords longitudinaux sera surveillée; tout défaut (par ex. excès ou défaut de gravillons) doit immédiatement être corrigé.



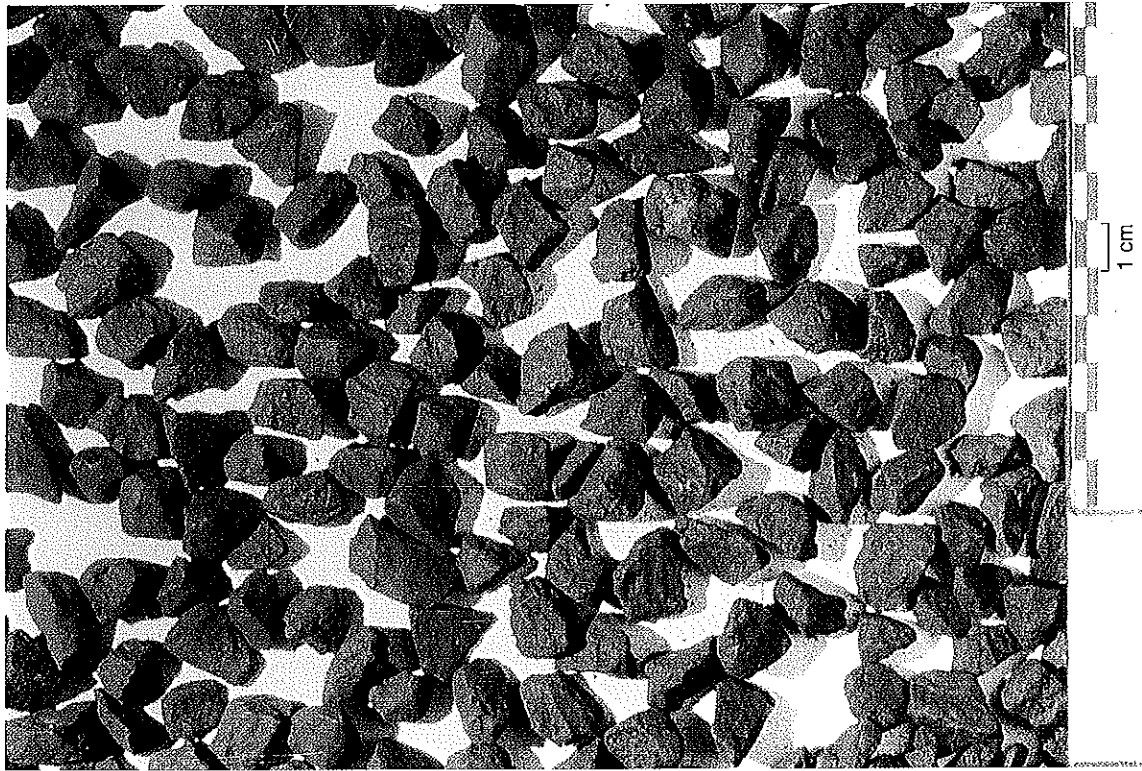


Photo CRR S1296

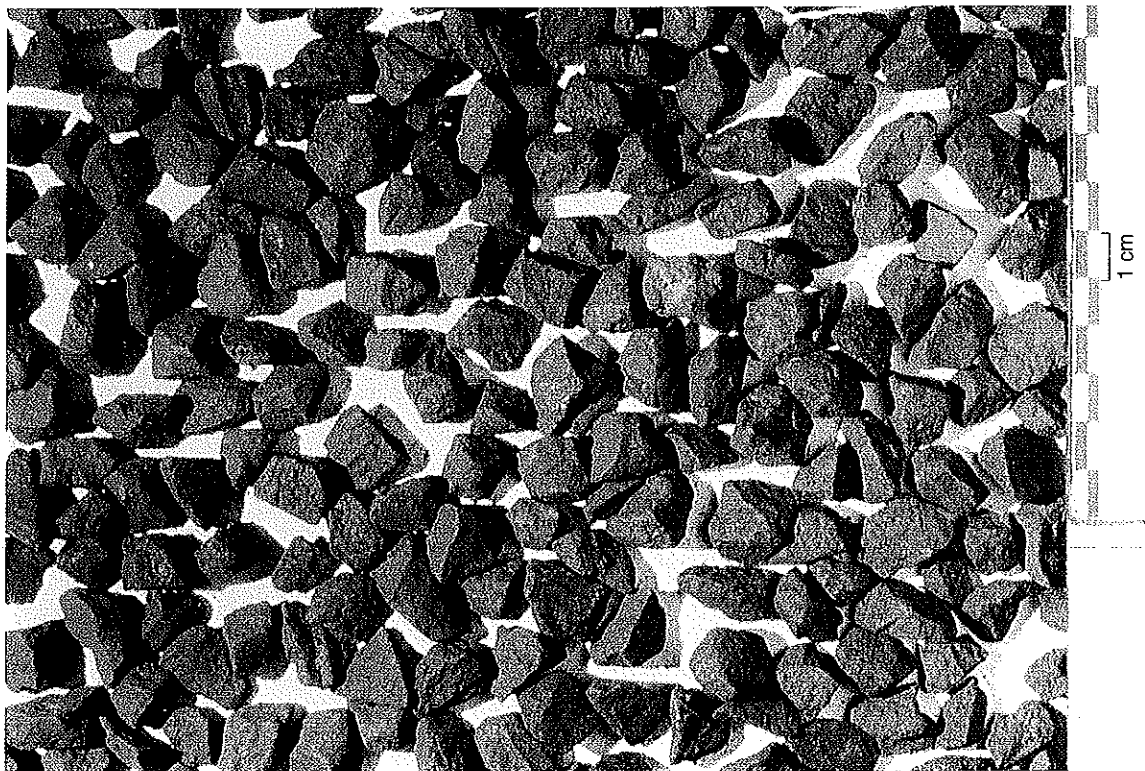


Photo CRR S1297

**Photos 13 et 14 - Taux de gravillonnage: exemple d'échelle visuelle à 4 échelons  
(porphyre 10-14 mm)**



Photo CRR S1298



Photo CRR S1299

**Photos 15 et 16 - Taux de gravillonnage: exemple d'échelle visuelle à 4 échelons  
(porphyre 10-14 mm)**

## 5.5. Compactage (ou mise en place de la mosaïque)



Photo CRR 3856/10A

**Photo 17** - Compactage d'un enduit superficiel

### 5.5.1. Règles générales

Actuellement, le seul moyen permettant une première mise en place de la mosaïque avant la remise en circulation est le compactage. Cette opération a pour but de couler les gravillons, de limiter les superpositions et d'amorcer un premier sertissage des gravillons par le liant.

Pour que cette action soit efficace, il est indispensable qu'elle suive de très près l'épandage du gravillon au moins pour les premiers passages. Les suivants sont réalisés lorsque les gravillons sont plus secs.

Pour les enduits à l'émulsion de bitume, le compactage est à effectuer avant rupture complète de l'émulsion, caractérisée par le passage de la teinte brune à la teinte noire.

Le premier passage du rouleau se fera à vitesse réduite, afin de ne pas retourner les gravillons. Le rouleau passera autant de fois qu'il s'avère nécessaire pour stabiliser l'enduit, à une vitesse inférieure à 8 km/heure; trois passages sont considérés comme un minimum nécessaire.

Ceci implique que pour les chantiers importants, à avancement rapide, deux compacteurs soient nécessaires: le premier en tête derrière la gravillonneuse, le second pour parfaire la mise en place et pour remplacer le premier en cas de besoin.

Le rouleau à pneus constitue incontestablement l'outil le plus indiqué, particulièrement sur les voiries secondaires dont le profil n'est pas toujours parfait. D'une manière générale, les rouleaux lisses ne peuvent être utilisés que si le support est suffisamment plan.

Des difficultés peuvent cependant être rencontrées par temps chaud si les gravillons collent aux pneus souillés de liant. Dans ce cas, l'emploi d'un rouleau à jante lisse devient indispensable, du moins pour le premier passage.

La mosaïque étant principalement mise en place par le trafic, l'opération de compactage est d'autant plus importante que le trafic est faible.

Le nombre de passes des compacteurs pneumatiques doit s'élever, pour les routes à fort trafic, au moins à trois et pour les routes à faible trafic à six.

### **5.5.2. Enduit bicouche**

Dans le cas précis des bicouches, il n'est pas nécessaire de compacter la première couche; en contrepartie, le compactage final doit être particulièrement efficace.

L'ensemble des deux couches sera compacté par trois passages au moins de rouleau pneumatique.

Certains praticiens préfèrent exécuter le premier de ces trois passages à l'aide d'un rouleau mixte ou à jantes lisses, ce dernier type de compacteur étant avantageux par temps chaud car il permet d'éviter le collage des gravillons.

### **5.5.3. Enduit monocouche à double gravillonnage**

Le premier gravillonnage sera compacté par un passage de rouleau pneumatique. L'ensemble des deux gravillonnages sera compacté à nouveau par au moins 3 passages de rouleau pneumatique.

### **5.5.4. Enduit superficiel à haute performance**

Ce type d'enduit ne nécessite aucun compactage.

## **5.6. Balayer – aspirer**

La réalisation d'un enduit implique, inévitablement, la formation d'un rejet de gravillons provenant:

- d'une part d'un excès lors de la mise en oeuvre (il faut veiller à ce qu'il soit le plus faible possible);
- d'autre part d'un rejet dû à la mise en place de la mosaïque sous circulation (arrachement des gravillons et réduction de l'épaisseur moyenne de l'enduit).

Dès l'action suffisante du trafic, les gravillons en excès et non fixés seront donc éliminés par brossage ou mieux par passage de la brosse aspiratrice. L'opération sera répétée, si nécessaire, pour éliminer les gravillons ultérieurement arrachés par le trafic. Le rejet de gravillons est possible jusqu'après le premier hiver.

Cette suppression des 'grenailles errantes' acquiert une grande importance sur les voies à circulation rapide ou dense, car les bris de pare-brise constituent une nuisance fortement ressentie par les usagers ainsi qu'une source d'accidents non négligeable. De même, en milieu urbain, les « grenailles errantes » sont de plus en plus souvent considérées comme une gêne par les riverains. Les opérations de balayage et d'aspiration seront donc systématiquement organisées et considérées comme phases capitales de l'enduisage.

## **5.7 Sécurité**

### **5.7.1 Personnel**

Les équipements de sécurité seront adaptés aux conditions particulières de travail pouvant découler:

- des risques de projection de liant;
- de la volatilité des produits en cas d'utilisation de liants fluidifiés;
- de la température du liant;
- de la circulation au voisinage de l'atelier de mise en oeuvre.

### **5.7.2 Matériel**

- le nettoyage des filtres est une précaution utile en vue d'éviter une rupture de conduite entraînée par le bouchage d'un filtre;
- les engins seront équipés d'avertisseurs sonores pour les mouvements de marche arrière;
- l'utilisation de télécommandes pour l'ouverture et la fermeture des becs permet au personnel de se prémunir des risques de projection de liant et de se placer adéquatement par rapport à la circulation des véhicules et des engins.

### **5.7.3 Organisation générale**

L'auteur de projet sera attentif au fait que les conditions atmosphériques (vent) et la topologie des lieux (dévers, rampe, largeur de la voie,...) ont une influence toute particulière sur un chantier d'enduisage. La prise en compte de ces facteurs peut ainsi conduire à un encombrement plus important de la chaussée que celui de la largeur de voie à enduire et nécessiter, le cas échéant, la déviation de la circulation.

## **5.8. Signalisation**

D'une façon générale, toutes les mesures d'exploitation doivent être prises pour donner aux usagers et au personnel d'exécution la meilleure sécurité ainsi que pour assurer la sauvegarde de l'enduit fraîchement réalisé.

Lorsque les travaux d'enduisage sont réalisés sous circulation, il est impératif d'avertir les usagers de l'exécution des travaux et de la présence sur la chaussée de personnel et de matériel par une signalisation adéquate conforme à la réglementation en vigueur.

En outre, il est indispensable de prévoir une déviation en cas d'intempéries survenant pendant la réalisation des travaux, ou juste après.

Durant les travaux et tant que subsiste un risque lié à la présence de gravillons roulants ou mal fixés, des signaux de danger, de limitation de vitesse et d'interdiction de doubler sont maintenus aux extrémités des sections récemment revêtues; ils sont rappelés aux carrefours et en section courante si nécessaire.

L'absence de marquage est également indiquée à l'utilisateur.

La signalisation est enlevée aussitôt que les conditions normales de circulation sont retrouvées.



*Photo MET*

**Photo 18** - Signalisation prévue lors d'un chantier d'enduisage

## 6 MISE EN SERVICE

Ce chapitre répond à la question "quand peut-on mettre l'enduit en service ?", propose une procédure d'ouverture au trafic, évoque la problématique de la signalisation et justifie les limitations de vitesse.

### 6.1. Quand procéder à l'ouverture au trafic ?

Aucune circulation n'est admise sur la surface avant achèvement du compactage et rupture complète en cas d'utilisation d'émulsion. Tout trafic est également interdit sur les premières couches des enduits bicouches et monocouche double gravillonnage.

Pour tous les enduits, à l'exception du ESHP, le trafic est admis généralement après un délai d'une trentaine de minutes à compter de la fin du compactage.

Le mouillage des gravillons par le liant et la bonne fixation de ces derniers requiert en effet une durée de cet ordre par temps sec, un peu plus par temps humide ou frais.

Avant d'ouvrir l'enduit à la circulation, on contrôlera sur quelques gravillons que cette adhérence est suffisante. Ce contrôle peut s'effectuer en tentant d'arracher les gravillons manuellement ou à l'aide du talon.

Il n'y a par ailleurs aucun avantage à différer outre mesure l'ouverture au trafic pour autant que la vitesse des véhicules puisse être maintenue sous un seuil raisonnable: le passage des véhicules à vitesse réduite constitue un compactage complémentaire indispensable à la mise en place de la mosaïque.

### 6.2 Cas particulier des ESHP

Dans le cas de l'ESHP, le trafic est autorisé après que les gravillons en excès aient été éliminés à la fin de la polymérisation et du durcissement du liant. Ce délai est d'environ 2 heures en fonction des conditions climatiques.

### 6.3 Procédure d'ouverture au trafic

L'ouverture à la circulation s'effectue alors en deux phases:

Première phase:

- durée: - 1 heure minimum sur les routes à trafic supérieur à 4000 véhicules par voie et par jour;  
- 3 heures minimum sur les autres routes;
- vitesse du trafic: l'entrepreneur prend toutes dispositions pour limiter la vitesse à 30 km/h;
- pour les routes à trafic supérieur à 4000 véhicules par voie et par jour, l'utilisation d'un véhicule-pilote est obligatoire;
- au terme de la première phase, l'entrepreneur élimine les pierres non fixées au moyen d'une brosse mécanique munie d'un aspirateur.



#### Deuxième phase:

- durée: - 1 semaine minimum sur les routes à trafic supérieur à 4000 véhicules par voie et par jour;  
- 2 semaines minimum sur les autres routes;
- vitesse du trafic: limitée à 50 km/h par signalisation;
- durant la deuxième phase et jusqu'à la stabilisation complète de l'enduit, l'entrepreneur procède régulièrement à l'élimination des pierres non fixées au moyen d'une brosse mécanique munie d'un aspirateur.

### **6.4. Justification des limitations de vitesse**

Ci-dessous quelques informations à ce sujet:

- à 30 km/h: le trafic exerce un postcompactage efficace;
- à 40 km/h: risques d'arrachement des gravillons de l'enduit par les pneus (effet mécanique);
- à 50 km/h: risque de projection de gravillons à hauteur des phares des voitures;
- à 60 km/h: projection de gravillons entraînant le risque de bris de pare-brise.

### **6.5 Signalisation**

Pour rappel la signalisation prévue au § 5.8 reste en place tant que subsiste un risque pour l'utilisateur ou pour la pérennité de l'enduit.

Elle est enlevée aussitôt que les conditions normales sont retrouvées.



Faute de méthodes objectives d'appréciation, le contrôle a posteriori des enduits est particulièrement difficile, voire impossible pour certains aspects.

La meilleure contribution du maître de l'ouvrage ou de son représentant à la réussite d'un enduit consiste donc à contrôler les étapes préparatoires à la pose de l'enduit et à exercer une surveillance sérieuse durant l'exécution.

C'est à ce moment que doivent être prélevés, le cas échéant, les échantillons des matériaux utilisés; même s'ils ne donnent pas lieu immédiatement à analyses, ils pourraient être utiles pour détecter les causes d'éventuels problèmes ultérieurs. Après réalisation de l'enduit, il est en effet impossible d'en récupérer correctement les matériaux constitutifs.

C'est également lors de l'exécution que doivent être mesurés les taux d'épandages (liant et gravillons). Enfin, il appartient à l'exécutant d'entretenir son matériel d'épandage afin de garantir un enduisage de qualité. Certaines procédures existent pour calibrer le matériel.

### **7.1    Contrôles avant, pendant et après l'exécution**

Les différents points à vérifier ou à contrôler par le maître d'œuvre à l'occasion de la réalisation d'un enduit sont énumérés ci-après sous forme d'aide-mémoire. Celui-ci est, par ailleurs, annexé au présent code. Les tâches à caractère administratif ou de mesurage des quantités ne sont pas évoquées ici.

#### **Aide-mémoire**

##### *Avant exécution*

1. Prendre connaissance du projet (Cahier spécial des charges et informations fournies par l'entrepreneur):
  - 1.1. But visé: Imperméabilisation, couche d'usure, rugosité, etc.
  - 1.2. Environnement du site (agglomération, campagne, etc.)
  - 1.3. Catégorie du trafic
  - 1.4. Support: Nature, dureté, texture (évaluation par la mesure de la hauteur de sable), état, etc.
  - 1.5. Caractérisation de l'enduit: Type d'enduit, type de liant, type de gravillons, taux de répandage, etc.
2. Vérifier la conformité des gravillons approvisionnés (nature, calibre, forme, propreté, qualité du laquage, etc.).
3. Inspecter la chaussée à enduire de façon détaillée pour vérifier son état ainsi que la bonne exécution des réparations préalables.
4. Contrôler la disposition de la signalisation du chantier et la possibilité d'une déviation du trafic.
5. Contrôler le bon état de fonctionnement du matériel (balayeuse, gravillonneur, compacteur, épandeuse à liant).

Au début d'un chantier important ou d'une campagne étendue, il est conseillé d'effectuer ce contrôle avec méthode et de vérifier le bon fonctionnement de tous les engins sur une aire d'essai et de détecter les fuites, suintements, grippages éventuels ainsi que les pièces manquantes.

6. Vérifier la correspondance du liant fourni avec les prescriptions du cahier des charges (voir bon de livraison).

7. Contrôler la température du liant dans la citerne de l'épandeuse (thermomètre) et vérifier la conformité avec les limites prescrites pour ce type de liant (voir bon de livraison ou Code de bonne pratique, § 5.3.1.).
8. Apprécier les conditions météorologiques: Température du support, menace de pluie, etc.
9. Vérifier si le support est suffisamment propre et sec.
10. Se mettre d'accord sur le taux correct d'épandage des gravillons (petite aire de référence si nécessaire).

### *Lors de l'exécution*

11. Surveiller l'écart entre l'épandeuse de liant et le gravillonneur.
12. Surveiller la bonne exécution des joints de reprise et des raccords entre passes voisines; vérifier l'uniformité du gravillonnage et les irrégularités d'épandage du liant (becs obstrués).
13. Dès l'observation d'un de ces défauts, **exiger une intervention immédiate.**
14. Veiller à ce que le premier compactage se fasse à vitesse réduite, qu'il suive le plus rapidement possible l'épandage des gravillons et que le compacteur effectue, au total, un minimum de trois passages.
15. Le cas échéant, prélever un échantillon de liant en vue d'un examen ultérieur en laboratoire si des problèmes surgissent; prélever l'échantillon après le fonctionnement de l'épandeuse sur une centaine de mètres. Faire de même avec les gravillons.
16. Un contrôle ponctuel des taux de liant et des gravillons peut être effectué si l'on dispose de l'expérience et du matériel requis.
17. Après quelques dizaines de minutes, vérifier, par essai direct, si les gravillons sont bien fixés par le liant. Répéter l'opération jusqu'à l'obtention d'un résultat positif.
18. Ouvrir alors à la circulation mais à vitesse réduite.
19. Apprécier l'opportunité d'un premier balayage (selon l'importance du trafic).

### *Après exécution*

20. Pendant les premiers jours de circulation, veiller à ce que la signalisation du chantier reste appropriée.
21. Eliminer les gravillons non fixés, par brossage ou aspiration.
22. Tenir l'enduit frais sous surveillance pendant quelque temps, particulièrement en cas de fortes chaleurs. Faire sabler au besoin.

## **7.2 Méthodes de contrôle sur chantier**

Le chef d'équipe de l'entreprise d'enduisage ou le représentant du maître d'œuvre peut avoir intérêt à préciser les observations par quelques mesures des taux de répandage. Il dispose à cet effet d'une méthode applicable pendant l'exécution donnant un résultat et n'exigeant qu'un matériel réduit. Le procédé est décrit ici ainsi qu'un résumé de la méthode de contrôle de la répartition transversale du

liant (contrôle et réglage des rampes); pour cette opération, il sera de préférence fait appel à un organisme de contrôle.

### 7.2.1 Taux d'épandage du liant – régularité longitudinale

La régularité longitudinale peut être contrôlée au moyen de l'essai décrit à la réf. 30. Elle est illustrée aux photos 19 et 20.



*Photo CRR 3942/13A*

**Photo 19 - Détermination du taux d'épandage du liant**



*Photo CRR 3942/17A*

**Photo 20 - Prélèvement du panneau absorbant**

L'essai consiste à recueillir une partie du liant épandu par la machine afin de déterminer le taux moyen d'épandage à l'aide de bacs, de panneaux absorbants ou de plaques de mousse d'une surface totale

minimale de 0,5 m<sup>2</sup>. Il faut utiliser au moins cinq bacs, panneaux absorbants ou plaques de mousse, d'une surface unitaire minimale de 0,1 m<sup>2</sup>, disposés uniformément sur toute la largeur d'épandage.

### 7.2.2. Répartition transversale du liant

La bonne régularité de la rampe est à contrôler par l'essai dit "à la bande mousse", au moins en début de saison, au moment de la remise en service du matériel et avant tout chantier important. La méthode est décrite aux réf. 30 et 31 et illustrée par les photos 21 et 22.



Photo CRR 3848/13A

Photo 21 - Essai à la bande de mousse



Photo CRR 3856/14A

Photo 22 - Prélèvement de la bande

La méthode consiste à prélever un échantillon de la couche de liant épandu par la machine en fonctionnement normal sur la route. L'opération n'apporte qu'un minimum de perturbation au déroulement du chantier d'enduisage.

En effet, le prélèvement du liant se fait à l'aide d'une bande en matière absorbante disposée transversalement sur la chaussée, cette bande étant constituée d'une série de coupons détachables de dimensions identiques (préalablement pesés). La pesée individuelle de ceux-ci, après épandage, permet de déterminer le taux de liant correspondant à chacun d'eux.

Lorsque l'épandeuse est bien réglée, on peut obtenir une régularité transversale satisfaisante: le coefficient de variation transversale devrait être inférieur à 10 % in situ.

L'essai à la bande de mousse ne dispense pas d'un contrôle visuel permanent. Une intervention immédiate est en effet indispensable dans le cas de l'obstruction d'un bec.

### 7.2.3 Taux d'épandage des gravillons

Le taux de gravillonnage peut être contrôlé à l'aide de l'essai décrit à la réf. 30 et illustré à la photo 23.

L'essai consiste à recueillir les gravillons dans trois bacs étalonnés. Le bac sert à la fois à recueillir et à mesurer le volume ou la masse des gravillons afin de déterminer leur taux d'épandage:

- lorsque le couvercle est retiré, le bac est utilisé pour recueillir les gravillons sur une surface connue (surface du bac);
- lorsque le couvercle est remis en place, le récipient est utilisé pour mesurer le volume en vrac de gravillons recueillis grâce aux graduations du couvercle;
- le pesage du contenu du bac détermine la masse des gravillons récoltés.

Le schéma du bac est donné à la figure 11.

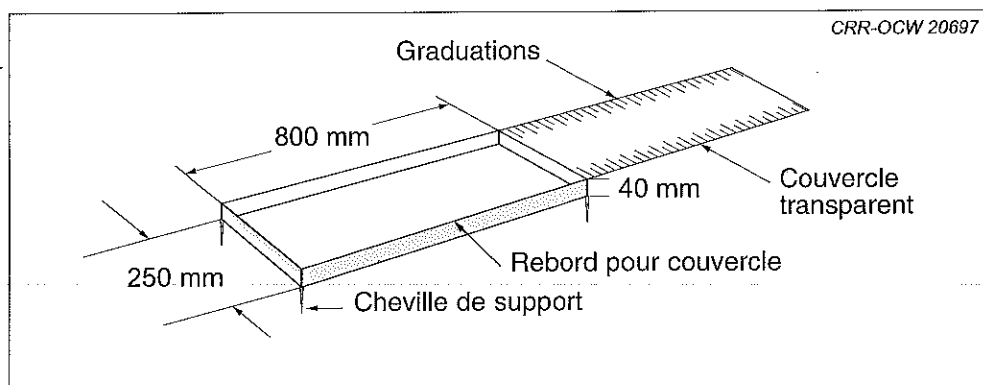


Figure 11 - Bac doseur



*Photo CRR 3856/14A*

**Photo 23** - Contrôle de l'épandage des gravillons

### **7.3. Contrôle du matériel d'épandage du liant au banc d'essai**

Le banc d'essai permet le contrôle et/ou la calibration du matériel d'épandage. Ce calibrage est complémentaire à l'essai à la bande de mousse qui permet, lui, de contrôler la répartition transversale du liant épandu dans les conditions réelles du chantier.

Le banc d'essai détermine les paramètres suivants:

- la régularité transversale d'épandage par échantillonnage tous les 10 cm;
- le dosage moyen par le calcul de la moyenne arithmétique des dosages partiels.

Le coefficient de variation transversale doit être inférieur à 3.5 % au banc d'essai.

Pour obtenir les bonnes performances souhaitées, il est indispensable que le matériel soit contrôlé au minimum tous les 3 ans, soit dans une station indépendante, soit chez le constructeur de l'épandeuse, qui délivreront un certificat de conformité validant la conception de la machine.

Malgré tous les soins apportés à la mise au point du projet d'un enduit et à son exécution, il peut arriver que certains enduits ne se comportent pas comme souhaité.

Les défauts suivants sont décrits dans le code: le plumage, l'arrachement, le peignage, le ressuage et la pelade.

Après avoir, pour chacun de ces défauts, donné une définition, le code décrit le mécanisme des dégradations et en aborde les causes possibles. Une méthode basée sur les projets de normes européennes est ensuite proposée pour quantifier les dégradations. Le texte se penche enfin sur les conséquences pour les usagers et la pérennité de l'enduit. Pour clôturer ce chapitre, des procédés de réparations sont proposés.

### 8.1. Plumage, arrachement, peignage

#### 8.1.1. Définitions et mécanismes de la dégradation

Ces défauts sont dus au départ des gravillons; le liant ou la majeure partie du liant reste sur le support.

Le rejet immédiat des enduits, s'il n'est pas excessif (5 à 10 % des quantités de gravillons épandues) n'est pas considéré comme un défaut, pour autant qu'il ne s'agisse pas d'un appauvrissement de la mosaïque. Il provient d'un excès lors de la mise en œuvre, et également de «l'expulsion» de certains gravillons excédentaires lors de la mise en place de la mosaïque sous l'effet du trafic.

Dans le cas contraire, on distingue:

##### 8.1.1.1. Le plumage

Le plumage est illustré à la photo 24.



Photo CRR 3829/23

Photo 24 - Plumage

Le plumage est l'état d'un enduit dont la mosaïque est rendue non jointive suite au départ de certains gravillons, et cela de façon aléatoire.

Il peut être généralisé ou localisé principalement aux endroits sollicités par le trafic. Il peut être immédiat, soit dans les jours qui suivent, ou différé, notamment durant le premier hiver qui suit l'application.

**Si le défaut est concentré sur une surface continue de plus de 0,01 m<sup>2</sup>, on parle d'arrachement.**

#### Causes possibles

- défaut d'adhésivité liant-gravillons, résultant de l'utilisation de gravillons humides et/ou sales (teneur en filler excessive) ou d'une incompatibilité liant-gravillons. Un indice de ce cas de figure est la présence de gravillons libres non tachés par le liant;
- sous-dosage en liant: cette cause peut entraîner un plumage généralisé, ou également un plumage localisé entre frayées. La dégradation se manifeste souvent de façon différée, et notamment à l'arrivée de la saison froide. Le sous-dosage de liant peut être détecté par une hauteur noircie insuffisante des gravillons libres;
- type d'enduit trop fragile pour les conditions de circulation: par exemple, enduit monocouche à base de liant à faible cohésivité sur route à fort trafic (cas des bitumes fluidifiés ou même des bitumes fluidifiés élastomères lors du jeune âge). La dégradation se manifeste souvent de façon localisée, dans les frayées;
- mauvais choix du liant:
  - application d'un liant trop visqueux sur une route à trafic faible (dégradation en général différée), ou application d'un liant trop visqueux sur un support froid empêchant le mouillage suffisant des gravillons. Dans ce dernier cas, on constate généralement la présence de gravillons libres non tachés par le liant;
  - application d'un liant trop fluide inadapté à la classe de trafic. Il y a un risque important de déplacement du liant, occasionnant un sous-dosage. C'est le cas notamment de bitumes fluidifiés trop fluides appliqués en saison chaude, ou d'émulsions à rupture inadaptées en saison froide. Les gravillons libres sont en général tachés par le liant et la dégradation est rapide;
  - utilisation d'un liant fragile à froid: défaut de cohésivité en période froide. La dégradation apparaît au premier hiver et généralement de façon localisée dans les frayées;
- défauts d'exécution:
  - discordance entre matériaux prescrits et matériaux mis en œuvre; taux d'application non conformes, notamment dans les zones ombragées;
  - gravillonnage et/ou compactage tardif; compactage insuffisant (gravillons libres peu ou non tachés). La dégradation est généralement différée;
  - épandage du liant à température trop basse, occasionnant un manque de mouillage des gravillons. La dégradation est généralement différée;
  - excès de gravillons à la mise en œuvre, notamment lors de la première couche des enduits bicouches ou des enduits monocouches à double gravillonnage;
  - défaut de préparation du support: exécution sur zones poreuses, faïencées entraînant un sous-dosage en liant. Dans ce cas, les dégradations sont généralement localisées et immédiates;
- remise sous trafic trop rapide;
- conditions météorologiques défavorables lors de l'exécution: temps trop froid, pluie à la mise en œuvre.

En cas d'exécution tardive en arrière-saison, le processus d'évolution du liant est bloqué par manque de température, notamment en cas d'utilisation de bitume fluidifié. La mosaïque ne se forme pas complètement, le mouillage des gravillons par le liant est insuffisant, le liant reste mou et la conjugaison du trafic avec la pluie et les premières gelées provoque peu à peu le



déchaussement des gravillons, de façon différée. Dans ce cas, les gravillons libres sont peu ou non tachés par le liant.

La pluie lors de la mise en œuvre peut également déplacer le liant, ou provoquer une mise en émulsion partielle de celui-ci;

- conditions météorologiques défavorables après exécution: un orage subit dans les heures suivant l'exécution ou une pluie continue pendant quelques jours après exécution peut entraîner la ruine de l'enduit si la circulation n'a pu être empêchée.

#### **8.1.1.2. L'arrachement**

L'arrachement est un manque localisé et concentré de gravillons qui apparaît généralement aux endroits où la circulation exerce une contrainte élevée, notamment aux endroits où les sollicitations tangentielles sont intenses (virages serrés, carrefours).

Dans ce cas, la structure de l'enduit ou la technique de l'enduit elle-même peut être inadaptée aux conditions du trafic.

L'arrachement se manifeste également sur des supports hétérogènes: zones poreuses, zones fissurées et faïencées, où la dégradation se produit généralement par suite d'un manque localisé de liant (absorption du support).

#### **Remarque**

On parle d'arrachement dès que la surface dénudée, et continue, est supérieure à 0,01 m<sup>2</sup>.

L'arrachement est illustré à la photo 25.



*Photo CRR 3901/3A*

**Photo 25 - Arrachement**

### 8.1.1.3. Le peignage

Le peignage est un manque de gravillons se développant suivant des sillons parallèles à la direction du répandage. Le peignage est illustré par la photo 26.

La cause principale est le manque de liant dû à une répartition transversale irrégulière (mauvais recouvrement des jets de la répandeuse, gicleurs bouchés, hauteur de pulvérisation inadéquate).

Le phénomène est accru en cas d'épandage de produits visqueux sur sol froid, ou de température de répandage trop basse, inadaptée à la viscosité du liant.



Photo CRR 2666/20A

Photo 26 - Peignage dû au mauvais réglage du jet

### 8.1.2. Quantification des dégradations

La réf. 32 propose une méthode pour l'évaluation des défauts.

En ce qui concerne le **plumage**, son niveau est exprimé en pourcentage de gravillons manquants dans la mosaïque. Il est déterminé par estimation du manque de gravillons dans une zone délimitée par un cadre de dimensions normalisées, posé à l'endroit où le plumage apparaît le plus sévère, sur chaque section enduite d'une longueur de 100 m où le défaut apparaît.

En ce qui concerne les défauts d'**arrachements** et de **peignage**, ils font l'objet d'une évaluation de leur surface comparativement à la surface de l'enduit réalisé.

**La méthode est identique à celle de l'évaluation des défauts de ressuage et de pelade (cf. § 8.2.3).**

### 8.1.3 Conséquences pour les usagers et pour la pérennité de l'enduit

Le rejet de gravillons pendant la période de plumage occasionne un risque de projections lié à la vitesse des véhicules. Il y a donc un risque certain de bris de pare-brise, d'éclats dans les carrosseries.

Par ailleurs, dans les bandes de roulement où le plumage peut être accentué, il peut se développer un manque de rugosité et un risque d'aquaplanage. S'il n'est pas endigué, le plumage peut dégénérer, par

appauvrissement progressif de la mosaïque, en arrachement; ce dernier peut conduire, par temps chaud, à une pelade.

#### 8.1.4 Mesures à prendre

Dès l'apparition du plumage, il importe d'y remédier dans les plus brefs délais. En effet, le manque d'épaulement des gravillons résultant de l'appauvrissement de la mosaïque entraîne un "effet domino" irréversible.

Si le plumage est limité, la mosaïque peut être restaurée par application d'un enduit monocouche à base d'un liant à évolution rapide, de type non ressuant, soit une émulsion élastomère. Ce type de liant à haut point de ramollissement limite le risque de ressuage à posteriori et atteint rapidement ses caractéristiques de rigidité et de cohésion. Le dosage est à adapter au cas par cas.

Le calibre des gravillons est inférieur à celui utilisé pour l'enduit dégradé.

Si le plumage est excessif (supérieur à environ 50 % de la mosaïque mise en place):

- la technique de l'enduit sandwich est avantageusement employée en cas de support gras, notamment lorsque l'enduit dégradé a été réalisé à l'aide de bitume fluidifié. On opère un gravillonnage "à sec" sur les zones dénudées, suivi de l'application d'une émulsion élastomère, et d'un gravillonnage de finition;
- la première couche de gravillons remplit les vides de la mosaïque existante et sert également d'interface entre les couches de liant, limitant la remontée du liant résiduel de l'enduit dégradé. Le but est de limiter les risques de ressuage ultérieur en cas de fortes chaleurs en restaurant quelque peu l'équilibre liant-gravillons;
- l'application d'un RBCF apporte un meilleur uni à la réparation. La teneur en liant, de préférence élastomère, est à évaluer suivant le cas en tenant compte de la remontée possible d'une partie du liant résiduel de l'enduit dans le coulis. Si celui-ci est un bitume fluidifié, il y a un risque certain de perte de stabilité et de rugosité du RBCF, notamment à l'apparition de fortes chaleurs.

Un arrachement peut être traité par un prégravillonnage manuel de la zone dénudée, suivi d'un enduit monocouche localisé, comme décrit ci-avant (enduit sandwich).

Une autre solution consiste en l'application d'un RBCF en deux couches, la première couche en reprofilage de la zone dénudée, à l'aide d'un coulis relativement maigre (par ex. 0/7) afin de limiter la contamination par le liant résiduel de l'enduisage, et la couche supérieure en uniformisation de l'ensemble (par ex. 0/4).

La réparation du peignage à l'aide de la technique de l'enduit est délicate, car l'effet "bourrelet" peut subsister.

Il est toutefois possible d'obtenir un résultat satisfaisant en opérant un gravillonnage de l'ensemble de la surface enduite à l'aide de gravillons chauffés à environ 160°C dans une centrale d'enrobage. Les gravillons se fixent préférentiellement dans le bitume résiduel des zones dénudées tout en n'adhérant pas sur les bourrelets des zones non dégradées.

Après brossage, on procède à l'application d'un enduit monocouche sur l'ensemble.

On peut obtenir également une réparation acceptable en tirant un RBCF sur l'ensemble de la surface à l'aide d'un traîneau à bavette rigide.

## 8.2 Ressuage

Le ressuage est illustré aux photos 27 et 28.



*Photo CRR 2799/3*



*Photo CRR 3225/14*

**Photos 27 et 28 - Ressuage**

### 8.2.1. Définition

Apparition, en plaques ou en bandes, du liant de l'enduit à la surface de celui-ci. Ce liant forme à ces endroits un film quasi continu. On distingue:

- le ressuage par remontée du liant de l'enduit;
- le ressuage par enfoncement des pierres de l'enduit dans son support;
- le ressuage par le rejet des pierres de l'enduit.

### 8.2.2. Mécanismes de la dégradation

#### 8.2.2.1. Le ressuage par remontée du liant de l'enduit (figure 12)

Il s'agit de la forme la plus courante de ressuage.

Il est souvent la conséquence d'un surdosage, éventuellement local, du liant de l'enduit. Ce surdosage peut être le résultat d'une mauvaise estimation du dosage du liant (voir chapitre sur la formulation), soit de problèmes d'exécution (par ex. Répartition irrégulière de l'épandage, ou accumulation d'un liant de trop faible viscosité aux points bas du profil), soit encore d'une mauvaise préparation du support (par ex. ornières dans lesquelles s'accumule le liant, ou support de porosité très hétérogène).

Une trop faible viscosité du liant favorise le ressuage. Par temps chaud, le liant perd de sa stabilité, ce qui sous l'effet du trafic (principalement) ou de la pente, permet sa migration ou son déplacement latéral.

Le ressuage se rencontre plus fréquemment dans les enduits à base de liants fluidifiés car leur viscosité est plus sensible (que celles du liant provenant d'émulsions) aux variations de température.

C'est lors des premières journées chaudes qui suivent la réalisation de l'enduit qu'apparaît généralement le ressuage; ceci peut donc se passer au printemps suivant pour les enduits posés à la fin de l'été ou en automne; en effet, par temps chaud, le liant se ramollit (sa viscosité devient plus faible) permettant ainsi un réarrangement de la mosaïque de l'enduit par le trafic; en cas de surdosage, le bitume est expulsé d'entre les pierres et remonte à la surface de l'enduit.

Parmi les autres facteurs susceptibles d'influencer ou de favoriser l'apparition d'un ressuage, citons:

- le calibre des gravillons: plus les gravillons sont petits, plus le risque de ressuage est élevé (difficulté de dosage);
- les zones fortement ensoleillées;
- la géométrie du support (actions tangentielles et dynamiques);
- la vitesse du trafic: le trafic lent favorise le ressuage;
- le sous-dosage des gravillons.

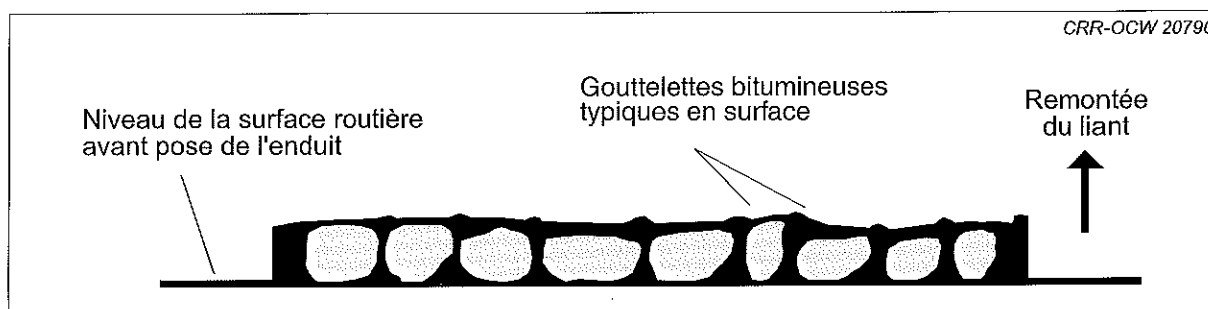
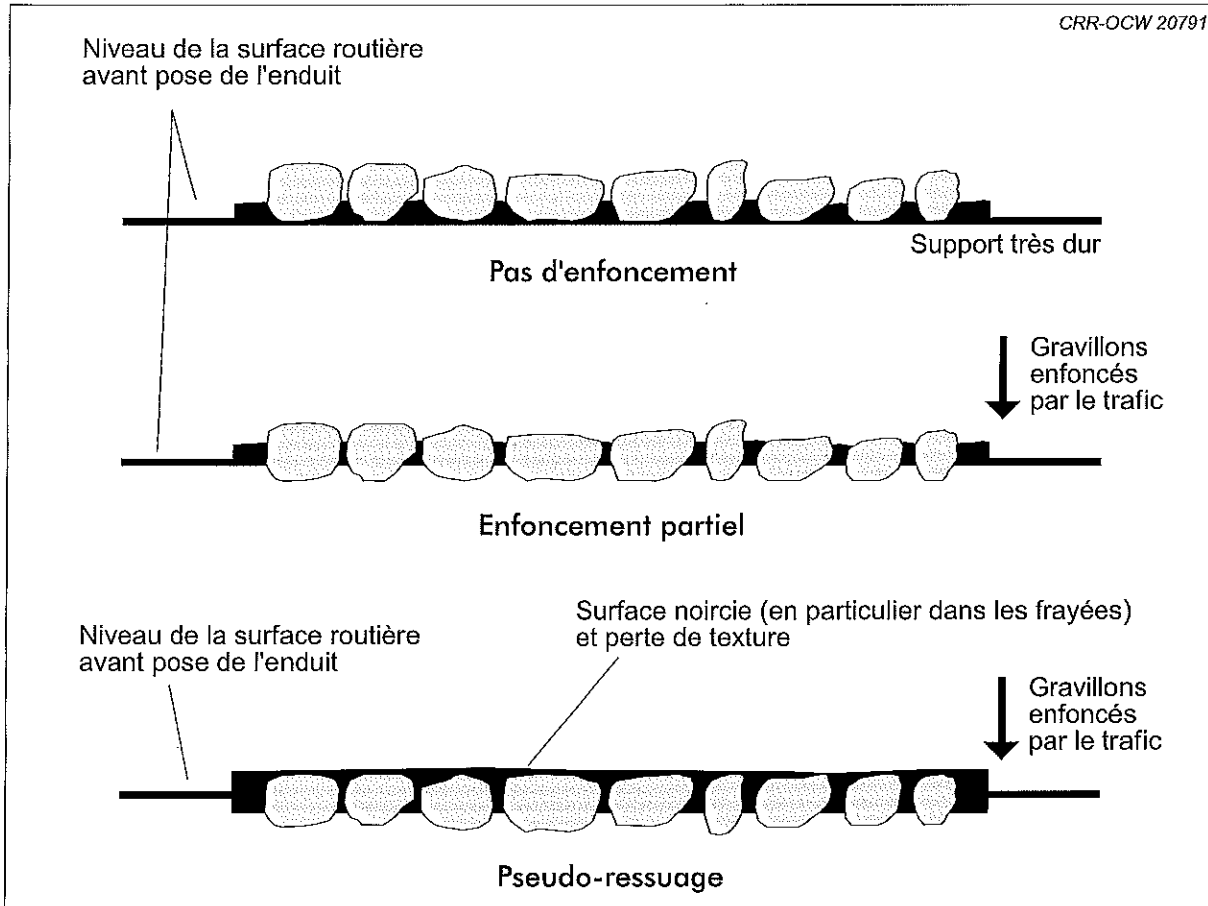


Figure 12 - Ressuage d'un enduit

### 8.2.2.2. Le ressuage par enfoncement des pierres de l'enduit dans son support (figure 13)

Ce type de ressuage est appelé pseudo-ressuage.

Ce phénomène apparaît uniquement lorsqu'un enduit fortement sollicité par le trafic est posé sur un support trop mou. Les gravillons de l'enduit sont alors enfoncés dans la couche sous-jacente, ce qui entraîne une remontée du liant à la surface de l'enduit comme c'est le cas pour le ressuage normal. Le pseudo-ressuage n'est donc pas dû à une mauvaise exécution de l'enduit, mais à une application inappropriée de la technique d'enduisage.



**Figure 13** - Ressuage par enfoncement des pierres de l'enduit dans son support (pseudo-ressuage)

La plupart des facteurs susceptibles de favoriser le pseudo-ressuage sont identiques à ceux énumérés dans le cas du ressuage par remontée de liant.

### 8.2.2.3. Le ressuage par le rejet des pierres de l'enduit

En cas de rejet concentré de pierres de l'enduit, le liant apparaît également en surface; quoiqu'il ne s'agisse pas à proprement parler d'un ressuage, cette situation y est souvent assimilée, du fait que pour l'utilisateur, les conséquences sont identiques.

### 8.2.3. Quantification des dégradations

La réf. 32 propose une méthode pour l'évaluation des ressuaux.

Dans ce projet de norme, les zones ressuaux (dont la surface est supérieure à 0.5 m<sup>2</sup>) sont assimilées à des surfaces rectangulaires; pour chaque tronçon de voie de roulement d'une longueur de 100 m, où

un défaut de l'enduit a été détecté, les surfaces de ressuage sont additionnées entre elles et aux surfaces des autres types de défauts (peignage et pelade) à l'exception du plumage; on compare alors la surface totale des défauts à celle de la surface de l'enduit considéré.

#### 8.2.4. Conséquences pour les usagers

Les conséquences de l'apparition du liant en surface de l'enduit sont les suivantes:

- le revêtement est à ces endroits très lisse et y présente donc généralement une résistance insuffisante au dérapage;
- par temps chaud, le liant peut adhérer aux semelles des chaussures et aux pneus des véhicules; il provoque donc des salissures notamment dans les bâtiments (piétons); il peut en outre être arraché par les pneus des véhicules, les pierres de l'enduit peuvent être entraînées dans cet arrachement, ce qui provoque la ruine complète de l'enduit (cf. Pelade).

#### 8.2.5. Mesures à prendre en cas de ressuage

Compte tenu des conséquences d'un ressuage pour l'usager, on est parfois amené à prendre des mesures d'urgence (notamment au moment de l'apparition du ressuage). L'épandage de gros sable constitue alors une solution temporaire; cette intervention devra le cas échéant être répétée chaque fois que le sable aura disparu (absorption par l'enduit ou rejet sur les bas côtés).

Une solution un peu plus durable consiste à répandre de fins gravillons (2/4, voire 4/7) préenrobés; pour faire accrocher ces gravillons, il faut que l'épandage se fasse lorsque la surface du revêtement est la plus chaude possible et s'accompagne d'un compactage énergique. L'efficacité de cette incrustation n'est toutefois pas garantie dans tous les cas. On peut l'améliorer en répandant au préalable une mince couche d'accrochage (émulsion de 200 g/m<sup>2</sup> de bitume résiduel). Dans certains cas, l'incrustation de gravillons de calibre approprié (4/7 ou 7/10) préchauffés en centrale à 160°C est une alternative intéressante.

Dans la plupart des cas, sauver un enduit victime du ressuage est souvent impossible à l'aide de moyens simples. Pour neutraliser le ressuage, il faut fréquemment recourir à des solutions plus radicales. Nous en présentons ci-dessous quelques-unes:

- pose d'un nouvel enduit approprié à un support riche en liant (notamment un enduit «sandwich», cf. choix des types d'enduits). Cette technique n'est pas applicable au cas où le ressuage provient de l'enfoncement des pierres dans le support, du moins comme solution définitive;
- pose d'un RBCF; on obtient ainsi un enduit scellé par un RBCF; l'enduit sert dans ce cas d'excellente couche de collage au RBCF. Cette solution est toutefois risquée dans le cas où le ressuage provient de l'enfoncement des pierres dans le support;
- les 2 solutions précédentes peuvent également s'appliquer après un raclage fin de l'enduit ressué. Ce raclage sera de préférence effectué par temps froid. Compte tenu de la minceur des nouvelles couches à mettre en œuvre, on optera de préférence pour un raclage fin (entre distances des stries de rabotage = 8 mm) permettant d'optimiser la texture du support du nouvel enduit ou du RBCF;
- dans le cas où le ressuage provient de l'enfoncement des pierres de l'enduit dans un support trop mou, il est nécessaire de s'attaquer à la racine du mal; ceci veut dire que bien souvent il faudra enlever cette couche et la remplacer par une nouvelle couche d'enrobé.

Les solutions présentées ci-avant ne doivent pas forcément être appliquées sur toute la largeur de la chaussée; principalement si le ressuage est concentré uniquement dans les frayées, des restaurations limitées à ces endroits peuvent être envisagées; on vérifiera toutefois que ces réparations ne constitueront pas des hétérogénéités incompatibles avec la fonction du revêtement, notamment en matière de sécurité des usagers, voire avec son esthétique. Il faut cependant signaler que ces différences d'aspect – pour autant qu'on ait utilisé des gravillons identiques – s'atténuent avec le temps.

### 8.3. Pelade

Des exemples de pelades sont illustrés aux photos 29 et 30.



*Photo CRR 2937/7A*



*Photo CRR 2666/22A*

**Photos 29 et 30 - Pelades**



### **8.3.1. Définition**

Décollement de la totalité de l'enduit (pierres et liant) du support, par plaques de plus ou moins grande importance.

### **8.3.2. Mécanisme de la dégradation**

Le décollement résulte d'un manque d'adhérence du liant de l'enduit au support.

Celui-ci peut avoir diverses causes:

- support mal nettoyé, pollué ou localement humide lors de l'épandage du liant;
- réparations locales préalables à la pose de l'enduit réalisées avec un matériau non bitumineux non compatible avec le liant de l'enduit;
- présence du liant de l'enduit en surface du revêtement.  
Cette présence de liant peut être la conséquence d'un manque de gravillons, d'un ressuage ou d'un arrachement. En cas de circulation lourde et intense, le liant ramolli, en excès, colle aux pneus des véhicules. L'enduit est arraché du support par morceaux et se recolle plus loin en formant des paquets irréguliers;
- présence de marquages thermoplastiques sous l'enduit;
- remise en émulsion du liant lors d'une forte pluie survenant peu après la mise en œuvre.

### **8.3.3. Quantification des dégradations**

cf. § 8.2.3.

### **8.3.4. Conséquences pour les usagers**

Les conséquences de la pelade sont les suivantes:

- aspect dégradé de la route avec réapparition de l'ancien revêtement et des défauts que celui-ci présentait;
- entraînement du liant et des pierres par les pneus des véhicules, provoquant des salissures, voire des dégâts;
- manque de planéité entraînant un risque de formation de flaques d'eau en cas de pluie.

### **8.3.5. Mesures à prendre en cas de pelade**

Lorsque les dégradations sont constituées de zones localisées de faible ampleur, les réparations peuvent être réalisées manuellement par reconstruction locale de l'enduit (épandage d'émulsion à la lance et grenailage).

Si nécessaire les zones de réparations seront élargies pour éliminer les zones potentielles de dégradations.

En cas de pelade de grande ampleur, la solution la plus simple consistera généralement à recommencer l'enduisage de la zone défectueuse, après avoir éventuellement raboté les restes de l'enduit initial.

## 8.4. Autres défauts

### 8.4.1. Définitions et mécanismes de dégradation

Ces dégradations peuvent être classées en 3 catégories.

#### 8.4.1.1 Dégradations résultant de défauts du support tels que:

- épaufrures (dégradations de l'enduit au niveau de joints entre dalles de béton ou du joint longitudinal d'un revêtement hydrocarboné);
- réapparition des fissures du support (fissures larges);
- dégradations dues au faïençage du support ou à la présence de nids de poule mal réparés avant enduisage. Dans ce cas, les dégradations du support réapparaissent plus ou moins rapidement dans l'enduit.

#### 8.4.1.2 Dégradations dues à des défauts d'exécution tels que:

- mauvais recouvrement des joints longitudinaux, entraînant un surdosage ou un sous-dosage, soit du liant, soit des gravillons;
- bord de l'enduit irrégulier ou ne correspondant pas au bord de chaussée;
- écoulements en rive du liant (liant trop fluide, émulsion à vitesse de rupture trop lente), entraînant des salissures, des filets d'eau, etc. La photo 31 illustre ce phénomène;
- répartition irrégulière de gravillons, entraînant un défaut dans la mosaïque;
- traces laissées dans l'enduit par les bacs de prélèvement d'échantillons.

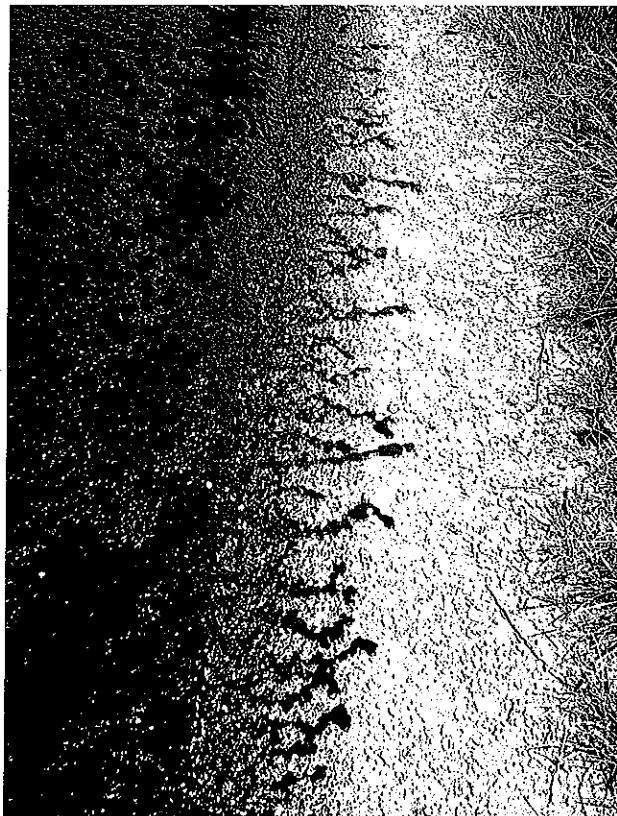


Photo Emubel s.a.

**Photo 31** - Ecoulement d'une émulsion de viscosité trop faible

#### **8.4.1.3 Dégradations accidentelles**

- pollution causée par des pertes de carburant des véhicules ou par divers déchets;
- scarification de l'enduit, causée par des éléments mal fixés sur un véhicule, des engins de déneigement ou des jantes de poids lourds ayant un pneu dégonflé;
- arrachement de gravillons dus à des efforts tangentiels exceptionnels, exemple: manœuvre d'engins lourds sur l'enduit ou coup de frein brutal au jeune âge.

#### **8.4.2. Conséquences pour les usagers et/ou pour la pérennité de l'enduit**

Certaines dégradations nuisent avant tout à l'aspect esthétique et sont sans conséquence pour l'utilisateur même si elles entraînent une destruction locale de l'enduit. D'autres au contraire peuvent s'accroître avec le temps et présenter des risques. C'est notamment le cas de certaines dégradations du support (faïencage, nids de poule, joints, etc.) où l'enduit disparaîtra rapidement, ce qui entraînera la reprise du processus de dégradation.

#### **8.4.3. Mesures à prendre**

Pour éviter une dégradation rapide de l'enduit, il est impératif que les défauts localisés du support soient traités avant mise en œuvre de celui-ci (traitement des joints et des fissures, bouchage des nids de poule, réparation des zones faïencées, comblement des flaches, etc.), voir § 5.1, préparation de la chaussée avant de poser un enduit.

Les dégradations dues à des défauts d'exécution pourront généralement être traitées par mise en œuvre manuelle d'émulsion et de gravillons.

Dans certains cas, tels que la répartition irrégulière des gravillons, le problème ne pourra être résolu que par la réalisation d'un nouvel enduit.

Les dégradations accidentelles causées à l'enduit pourront, suivant leur importance, être traitées par des enrobés à froid ou de l'asphalte coulé. Les autres dégradations seront généralement réparées au moyen d'émulsion et de gravillons mis en œuvre manuellement.

## ANNEXE 1 : SPECIFICATIONS POUR LES PIERRES CONCASSEES

(extrait de la PTV 400 (réf. 33))

### 1. L'indice de forme des gravillons

Les gravillons doivent satisfaire à l'indice de forme de type C.

**Tableau A1-1** - Spécifications relatives à l'indice de forme

Dimension maximale D	Indice de forme minimal			
	Type A1	Type A2	Type B	Type C
D = 7	-	0,275	0,330	0,375
7 < D ≤ 20	-	0,275	0,350	0,390
20 < D	-	0,350	0,400	0,430

Remarque : La mesure de l'indice de forme constitue la méthode de référence pour la détermination de la forme des granulats.

### 2. Spécifications relatives aux caractéristiques intrinsèques

- Résistance à la compression statique :

La résistance à la compression statique est exprimée par le pourcentage en masse des éléments passant, après épreuve à la compression statique, à la passoire à trous ronds de 2 mm. Les gravillons utilisés pour les enduisages doivent répondre à la catégorie S1.

**Tableau A1-2** - Spécifications relatives à la compression statique

Calibre d'essai (passoires à trous ronds)	Passant maximal en %			
	S1	S2	S3	S4
6/8	26	28	30	32
10/12	16	20	24	27
12/16	14	18	22	24
16/20	12	15	19	21
25/32				19
32/40				18
50/63				18

- Résistance à l'usure :

Caractérisée par le coefficient micro-DEVAL (MDE) mesuré en présence d'eau sur le calibre 10/14. Il doit rester inférieur à 15 (Cf. Tableau A1-3).

- Résistance aux chocs :

Caractérisée par le coefficient Los Angeles (LA) mesuré sur le calibre 10/14. Il doit rester inférieur à 20 (Cf. Tableau A1-3).

**Tableau A1-3** - Caractéristiques intrinsèques des pierres concassées

Catégorie	CPA minimal	Classe de compression statique	MDE maximal	LA maximal	MDE + LA maximal
A	50	S1	15	20	25
B	50	S2	20	25	35
C	-	S3	25	30	45
D	-	S4	30	35	55
E	-	S5	40	45	75

- Résistance au polissage :

Caractérisée par le coefficient de polissage accéléré (CPA). Il doit être supérieur à 50.

En outre, les pierres de catégorie A pour lesquelles la relation suivante est respectée peuvent porter la désignation Aa.

$$\text{CPA} - (\text{MDE} + \text{LA}) \geq 30$$

## LISTE DES FIGURES

Figure 1	Types d'enduits superficiels	7
Figure 2	Mouillage du gravillon	22
Figure 3	Suppression des chanfreins en fin de benne	34
Figure 4	Gravillonneur à rouleau diffuseur	35
Figure 5	Gravillonneur à rouleau extracteur	36
Figure 6	Comparaison des 2 systèmes de gravillonneurs portés	37
Figure 7	Gravillonneur automoteur	38
Figure 8	Machine d'épandages simultanés fonctionnant en marche avant	40
Figure 9	Machine d'épandages simultanés fonctionnant en marche arrière	41
Figure 10	Répartition du liant en fonction du nombre de recouvrements des jets	46
Figure 11	Bac doseur	61
Figure 12	Ressuage d'un enduit	69
Figure 13	Ressuage par enfoncement des pierres de l'enduit dans son support (pseudo-ressuage)	70

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Recommandations concernant le choix du type d'enduit en fonction du site, du support et du trafic	17
Tableau 2	Choix du calibre des gravillons	18
Tableau 3	Utilisation des liants en fonction de la saison et du trafic	21
Tableau 4	Quantités minima de granulats et liant résiduel pour enduits monocouches	26
Tableau 5	Quantités minima de granulats et liant résiduel pour enduits monocouches à double gravillonnage	27
Tableau 6	Quantités minima de granulats et liant résiduel pour enduits bicouches	27
Tableau 7	Quantités minima de granulats et liant résiduel pour enduits à haute performance	28
Tableau 8	Correctif des dosages en liant en % par rapport au taux de base (environnement et support standard)	30
Tableau 9	Caractéristiques des divers types de gravillonneurs	39
Tableau 10	Températures d'épandage recommandées pour les liants usuels	45
Tableau A1-1	Spécifications relatives à l'indice de forme	77
Tableau A1-2	Spécifications relatives à la compression statique	77
Tableau A1-3	Caractéristiques intrinsèques des pierres concassées	78

## LISTE DES PHOTOS

Photo 1	Enduit monocouche calibre 7/10	7
Photo 2	Enduit bicouche 10/14 + 4/7	4
Photo 3	Exemple d'enduit coloré	6
Photo 4 et 5	Epannage de liant	32
Photo 6 et 7	Epannage de gravillons au moyen d'un gravillonneur opérant en marche arrière	33
Photo 8	Rouleau diffuseur d'un gravillonneur	35
Photo 9	Epannage de gravillons au moyen d'un gravillonneur automoteur opérant en marche avant	37
Photo 10	Alimentation d'un gravillonneur automoteur opérant en marche avant	38
Photo 11	Machines combinées : épannage de liant et de gravillons	39
Photo 12	Machines combinées : épannage de liant et de gravillons (réf. 35)	40
Photos 13 et 14	Taux de gravillonnage : exemple d'échelle visuelle à 4 échelons (porphyre 10-14 mm)	49
Photo s15 et 16	Taux de gravillonnage : exemple d'échelle visuelle à 4 échelons (porphyre 10-14 mm)	50
Photo 17	Compactage d'un enduit superficiel	51
Photo 18	Signalisation prévue lors d'un chantier d'enduisage	54
Photo 19	Détermination du taux d'épannage du liant	59
Photo 20	Prélèvement du panneau absorbant	59
Photo 21	Essai à la bande de mousse	60
Photo 22	Prélèvement de la bande	60
Photo 23	Contrôle de l'épannage des gravillons	62
Photo 24	Plumage	63
Photo 25	Arrachement	65
Photo 26	Peignage dû au mauvais réglage du jet	66
Photos 27 et 28	Ressuage	68
Photos 29 et 30	Pelades	72
Photo 31	Ecoulement d'une émulsion de viscosité trop faible	74



## LISTE DES ENCADRES

Philosophie des projets de normes européennes	15
Mouillage des granulats	22
Dope d'adhésivité	22
Dépoussiérage à sec	23
Lavage des granulats	23
Support standard	24
Mûrissement de l'enduit	29
Le moutonnement	48

## LISTE DES PHOTOS

Photo 1	Enduit monocouche calibre 7/10	7
Photo 2	Enduit bicouche 10/14 + 4/7	4
Photo 3	Exemple d'enduit coloré	6
Photo 4 et 5	Epanchage de liant	32
Photo 6 et 7	Epanchage de gravillons au moyen d'un gravillonneur opérant en marche arrière	33
Photo 8	Rouleau diffuseur d'un gravillonneur	35
Photo 9	Epanchage de gravillons au moyen d'un gravillonneur automoteur opérant en marche avant	37
Photo 10	Alimentation d'un gravillonneur automoteur opérant en marche avant	38
Photo 11	Machines combinées : épanchage de liant et de gravillons	39
Photo 12	Machines combinées : épanchage de liant et de gravillons (réf. 35)	40
Photos 13 et 14	Taux de gravillonnage : exemple d'échelle visuelle à 4 échelons (porphyre 10-14 mm)	49
Photos 15 et 16	Taux de gravillonnage : exemple d'échelle visuelle à 4 échelons (porphyre 10-14 mm)	50
Photo 17	Compactage d'un enduit superficiel	51
Photo 18	Signalisation prévue lors d'un chantier d'enduisage	54
Photo 19	Détermination du taux d'épanchage du liant	59
Photo 20	Prélèvement du panneau absorbant	59
Photo 21	Essai à la bande de mousse	60
Photo 22	Prélèvement de la bande	60
Photo 23	Contrôle de l'épanchage des gravillons	62
Photo 24	Plumage	63
Photo 25	Arrachement	65
Photo 26	Peignage dû au mauvais réglage du jet	66
Photos 27 et 28	Ressuage	68
Photos 29 et 30	Pelades	72
Photo 31	Ecoulement d'une émulsion de viscosité trop faible	74

## LISTE DES ENCADRES

Philosophie des projets de normes européennes	15
Mouillage des granulats	22
Dope d'adhésivité	22
Dépoussiérage à sec	23
Lavage des granulats	23
Support standard	24
Mûrissement de l'enduit	29
Le moutonnement	48

## LISTE DES ABREVIATIONS

3D	3 dimensions
A&B	Anneau & Bille
Bi	Enduit bicouche
CCT	Cahier des charges-type
CFT	Coefficient de frottement transversal
CPA	Coefficient de polissage accéléré
EAF	Electrical arc furnace
ESHP	Enduit superficiel à haute performance
LA	Los Angeles
LD	Linz-Donawitz
MC	Medium curing
MDE	Micro-Deval
MDG	Enduit monocouche à double gravillonnage
Mono	Enduit monocouche à simple gravillonnage
RBCF	Revêtement bitumineux coulé à froid
RC	Rapid curing

## BIBLIOGRAPHIE

### Référence :

- 1 Cahier des charges-type RW99, Chapitre C "Matériaux et produits de construction", Ministère de la région wallonne, 1999.
- 2 Standaardbestek SB250 versie 2.0, Hoofdstuk III "Materialen", Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, goedgekeurd 17/07/2000.
- 3 NBN T 54-122 (actuellement PT 54-122), Emulsion cationique de bitume, 10/06/1999.
- 4 NBN T 54-123 (actuellement PT 54-123), Emulsion cationique de bitume élastomère, 10/06/1999.
- 5 NBN T 54-124 (actuellement PT 54-124), Emulsion cationique de bitume plastomère, 10/06/1999.
- 6 NBN T 54-111 (actuellement PT 54-111), Bitume fluidifié à évolution rapide ou moyenne, 18/04/1997.
- 7 NBN T 54-112 (actuellement PT 54-112), Bitume fluidifié à base de bitume élastomère, 10/06/1999.
- 8 Revue Générale des routes, n° 787, septembre 2000, p. 93 à 95, "Bioflux, Bioflex : La région Aquitaine adopte les liants de répandage écologiques", Jean-Pierre Antoine et Michel Pelon.
- 9 Cahier des charges-type RW99, Chapitre Q "Essais", Ministère de la région wallonne, 1999.
- 10 Standaardbestek SB250 versie 2.0, Hoofdstuk XIV "Metingen en proeven", Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, goedgekeurd 17/07/2000.
- 11 NBN T 54-214 « Détermination de l'indice de rupture des émulsions de bitume »
- 12 NBN T 54-216 (actuellement PT 54-216) « Détermination de la teneur en eau des émulsions »
- 13 NBN T 54-217 (actuellement PT 54-217) « Détermination de la finesse de dispersion des émulsions de bitume »
- 14 EN 1426 « Bitumes et liants bitumineux – détermination de la pénétrabilité à l'aiguille »
- 15 NBN EN 12592 « Bitumes et liants bitumineux – Détermination de la solubilité »
- 16 NBN EN ISO 3838 « Pétrole brut et produits pétroliers liquides ou solides -- Détermination de la masse volumique ou de la densité relative -- Méthodes du pycnomètre à bouchon capillaire et du pycnomètre bicapillaire gradué »

- 17 NBN T 54-211 « Distillation des bitumes fluidifiés aux huiles de pétrole et détermination du résidu de distillation à 360°C »
- 18 NBN EN 12595 « Bitumes et liants bitumineux – Détermination de la viscosité cinématique »
- 19 NBN EN 22592 « Petroleum products – Determination of flash and fire points – Cleveland open cup method »
- 20 NBN EN 1427 « Bitumes et liants bitumineux – Détermination de la température de ramollissement – Méthode Bille et Anneau »
- 21 NBN EN 12593 « Bitumes et liants bitumineux – Détermination du point de fragilité Fraass »
- 22 NBN T 54-208 « Ductilité à 5°C d'un bitume modifié »
- 23 NBN T 54-209 « Retour élastique des mélanges bitume – Polymère »
- 24 PTV 407, Scories d'aciérie, édition 1, 2000.
- 25 EN 1744-1, Essais pour déterminer les propriétés chimiques des granulats - Partie 1 : Analyse chimique, 1998.
- 26 prEN 13036-1, Caractéristiques de surface – Méthodes d'essai – Partie 1 : Mesurage de la profondeur de macrotexture de la surface du revêtement à l'aide d'une technique volumétrique, février 2000.
- 27 prEN 12272-3, Enduits superficiels – Méthode d'essai – Partie 3 : Détermination de l'adhésivité liants–granulats, avril 1997.
- 28 NF T73-000, Agents de surface – Vocabulaire – Edition trilingue, octobre 1995.
- 29 "Enduits superficiels d'usure, Guide technique", SETRA et LCPC, mai 1995.
- 30 prEN 12272-1, Enduits superficiels d'usure – Méthode d'essai – Partie 1 : Taux d'épandage et régularité transversale du liant et des gravillons, août 1999.
- 31 MF.35/73, "Mode opératoire – Essai à la bande de mousse – Détermination de la répartition transversale du liant lors de son répandage en enduisage", CRR, 1973.
- 32 prEN 12272-2, Enduits superficiels d'usure – Méthode d'essai – Partie 2 : Evaluation visuelle des défauts, février 2000.
- 33 PTV 400, Pierres concassées, édition 2, 2000.
- 34 Documentation SECMAIR, France.
- 35 Documentation RINCHEVAL, France.