

AIX-EN-PROVENCE

BOUCHES-DU-RHÔNE (13)



#mieuxcirculer

#mieuxprotégerlaplanète

#chantier

#lianthydrauliqueroutier



Liant
hydraulique
routier



Recyclage
en place



119 000 m²



Bouches-
du-Rhône

Pour améliorer et sécuriser la circulation automobile sur son vaste territoire, Aix-en-Provence, ville d'art et d'histoire, a misé sur la technologie et sur la protection de l'environnement. Le bilan est remarquable, du point de vue écologique et économique.

PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maîtrise d'ouvrage

Ville d'Aix-en-Provence

Maîtrise d'œuvre

Ville d'Aix-en-Provence

Entreprise

Eiffage Route (Vitrolles)

Fournisseur du liant hydraulique routier

Vicat

PHOTO D'OUVERTURE : L'atelier de retraitement d'Eiffage en action sur un chemin aixois. L'ARC 1000 est suivi par une citerne qui l'approvisionne en eau. L'humidification du matériau s'effectue directement dans la cloche de malaxage.

SITUATION

Située à une trentaine de kilomètres au nord de Marseille, Aix-en-Provence est une « ville de culture et d'innovation », berceau du fameux calisson et lieu de naissance du peintre Paul Cézanne. Particularité : avec un territoire de 18 608 hectares, c'est la onzième commune la plus vaste de France métropolitaine.

ÉTAT DES LIEUX

Du fait de cette importante superficie, le réseau routier communal est très étendu. Dans sa périphérie, Aix-en-Provence englobe plusieurs villages (Les Milles, Luynes, Puyricard, Célony, Couteron, Les Granettes, ainsi que des quartiers récents comme La Duranne). Dans ces secteurs, les voies de circulation sont d'anciens chemins agricoles, étroits, souvent vétustes. Ils sont constitués d'enduits superficiels ou d'enrobés pour la couche de surface, supportés par une couche d'assise de quelques centimètres de GNT et d'une couche de forme en « pierres de route » (cailloutis ou « casson », selon la technique dite « macadam »). Ils sont très fréquentés à cause de la densité de la population qui réside dans ces zones. Par ailleurs, en fin d'été et en automne, les orages parfois violents les rendent difficilement praticables, inondables et parfois dangereux. Étroites (d'une largeur inférieure ou égale à 3,50 m), souvent bordées par des fossés ou des murets, toutes les chaussées de ces voies (chemin de la Présidente, les Muses du Soleil, route du Puy-Sainte-Réparate) présentaient les mêmes types de dégradations : ornières, affaissements de rives, flaches, écaillage, fissures erratiques, fragmentations, faïençage, etc. (cf. schéma 1).

PROJET

En 2017, la ville d'Aix-en-Provence a décidé de procéder à la réfection de vingt-six de ces chemins ruraux, soit environ 30 km de voirie. Secteurs concernés : Puyricard-Couteron-Célony-La Calade-Jas de Bouffan-Les Milles-Luynes. En outre, la conformation des chemins communaux aixois n'a pas permis d'envisager de les élargir. Il a été aussi jugé préférable, pour des raisons de sécurité, de maintenir certains passages étroits pour inciter les automobilistes à ralentir.

La mairie a lancé un appel d'offres (marché subséquent sur accord-cadre ouvert à variante environnementale) avec une solution de base classique (cf. schéma 2) qui consiste à :



7, place de la Défense
92974 Paris-la-Défense Cedex
Tél. : 01 55 23 01 00
E-mail : centrinfo@cimbeton.net

Le retraitement en place au LHR est une solution technique éprouvée qui présente de multiples avantages, notamment la pertinence économique, par rapport aux solutions traditionnelles.



Liant hydraulique routier

Excepté le liant, qui ne représente que 4 % de la composition de la nouvelle structure, il n'est pas nécessaire d'apporter d'autres matériaux sur le chantier.



Recyclage en place

Technique sobre du fait du recyclage des chaussées existantes, le retraitement en place au liant hydraulique routier permet de ne pas consommer de granulats neufs.

Avec la variante d'Eiffage, cette vaste opération prend une nouvelle physionomie, plus technologique et plus verte, en poursuivant simultanément plusieurs objectifs : rénovation, sécurisation, préservation et optimisation.



^ L'ARC 1000, un engin spécifique et exclusif.

- > Raboter les chaussées existantes sur 10 cm d'épaisseur.
- > Évacuer les matériaux en décharge.
- > Fabriquer, transporter et mettre en œuvre une couche de grave-bitume d'épaisseur 10 cm.
- > Fabriquer, transporter et mettre en œuvre une couche de surface en béton bitumineux d'épaisseur 5 cm.

LA SOLUTION RETENUE

Basée à Vitrolles, l'entité Méditerranée d'Eiffage Route postule à l'appel d'offres et propose une variante comportant une solution originale de retraitement des chaussées en place au liant hydraulique routier et une solution alternative à utiliser quand la solution de retraitement n'est pas envisageable.

Solution originale : le retraitement en place au liant hydraulique routier (LHR)

Elle utilise un engin spécifique et exclusif, mis au point par Eiffage Route, l'ARC 1000. Cette solution technique éprouvée, qui s'appuie sur des échantillonnages qui en confirment la faisabilité, présente de multiples avantages :

- > Pas de déchets ni d'évacuation des anciens matériaux de la chaussée.
- > Pas de nouveaux matériaux à apporter sur le chantier (excepté le liant, qui ne représente que 4 % de la composition de la nouvelle structure).
- > Réduction de la circulation des camions sur les routes qui mènent au chantier et qui ne sont pas forcément adaptées à un trafic de poids lourds.
- > Baisse des émissions de CO₂, compte tenu du transport limité et de la technique à froid utilisée, qui ne nécessite pas de consommation d'énergie importante pour chauffer les enrobés.
- > Technique sobre du fait du recyclage des chaussées existantes, qui permet de ne pas consommer de granulats neufs (économie circulaire en lien avec la loi de transition énergétique).
- > Gain de temps (un phasage plus réduit, une durée des travaux optimisée).
- > Réduction de la gêne occasionnée aux usagers et aux riverains.
- > Pérennité de la nouvelle chaussée par le renforcement durable lié à la technique du retraitement en place au LHR.
- > Pertinence économique par rapport aux solutions traditionnelles.

Solution alternative

Là où le retraitement en place de la chaussée n'est pas envisageable, notamment pour des raisons d'accessibilité (passages trop étroits) ou en présence d'affleurants multiples, Eiffage Route prévoit une autre solution, également intéressante du point de vue environnemental : le renforcement de la chaussée existante par la mise en œuvre de 9 cm d'une grave-émulsion fabriquée à froid, utilisant 100 % de matériaux recyclés avec un liant végétal issu de la sylviculture, la poix.

Dans un cas comme dans l'autre, les revêtements de surface contiendront de 30 à 40 % de matériaux recyclés.

Écologiquement et économiquement mieux-disante, cette variante est retenue par la Ville.

OBJECTIFS

Avec la variante d'Eiffage, cette vaste opération de rénovation prend une nouvelle physionomie, plus technologique et plus verte, en poursuivant simultanément plusieurs objectifs :

- > Rénover efficacement et rapidement un réseau de voies communales anciennes.
- > Sécuriser et pérenniser les voies rénovées en s'assurant de leur durabilité, tout en améliorant leurs conditions de circulation.
- > Limiter les atteintes à l'environnement générées par cette intervention de grande dimension.
- > Optimiser le coût de l'opération, en réalisant d'importantes économies.

MISE EN ŒUVRE

Le chantier est lancé en septembre 2019.

Information des riverains

Les résidents concernés par ces travaux sont systématiquement informés soixante-douze heures à l'avance par les équipes techniques sur place. Durant cette période et sur chaque chemin visé, la circulation est interrompue en journée mais possible en dehors des heures de chantier. Les mairies annexes restent également à la disposition des résidents pour leur transmettre toutes les informations nécessaires.

Mise en œuvre de la solution de retraitement

Sur l'ensemble des voies concernées, le même scénario se reproduit au fil des semaines, l'ancienne chaussée étant considérée comme un gisement de matériaux à valoriser pour créer une nouvelle structure homogène.

Épandage du liant (cf. mémo technique en annexe)

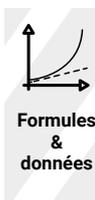
Après vérification de l'humidification du matériau, le liant est épandu selon le dosage défini par l'étude du laboratoire (25 kg/m²). Cette opération est réalisée par un épandeur doté d'un système de dosage volumétrique asservi à la vitesse d'avancement (cf. schéma 3). Le liant hydraulique routier mis en œuvre est le LV-TS 13, fabriqué par Vicat dans son usine locale de Fos-sur-Mer. À base de clinker, il permet une réouverture immédiate aux véhicules légers des riverains, puis aux poids lourds, après sa montée en résistance rapide. Les résultats des contrôles de portance réalisés à jeune âge (entre quatre et sept jours après traitement) ont permis d'évaluer la qualité de la plate-forme *in fine* à PF4 (EV2 > 200 MPa).

« Il faut souligner la remarquable coordination d'Eiffage avec Vicat, par le biais de sa filiale de transport SATM, pour desservir la multiplicité des points de livraison et leurs accès, précise-t-on chez Vicat. Cela donne tout son sens à l'intégration du transport de nos liants par une filiale dédiée. »

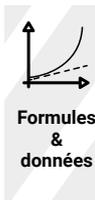


▲ La chaussée est décohesionnée et malaxée.

+ Consultez le mémo technique sur l'épandage en annexe.



La technique du retraitement en place au LHR a permis d'éviter de mettre en décharge 11 500 m³ de matériaux et d'apporter sur place autant de matériaux neufs, ce qui correspond à environ 50 000 t de matériaux qui n'ont pas été générés, ni transportés, ni mis en œuvre.



À raison de 25 t de chargement par véhicule, on peut estimer qu'environ 2 000 transits de poids lourds ont été supprimés, ce qui a épargné les voies d'accès au chantier. Une équation au résultat positif, du point de vue tant environnemental qu'économique.

+ Retrouvez tous les schémas en p. 5.



▲ La niveleuse, le cylindre V4 et le compacteur à pneus.

Défragmentation et malaxage

Spécialement conçu pour ce type de travaux, l'ARC 1000 d'Eiffage Route entre ensuite en action. La puissance de l'engin (1 000 CV) assure à la fois un décohesionnement complet de la chaussée et un malaxage efficace en une seule passe. Les matériaux sont malaxés avec le LV-TS 13 sur une épaisseur de 32 cm. L'ARC 1000 est suivi par une citerne qui l'approvisionne en eau. L'humidification du matériau s'effectue directement dans la cloche de malaxage (cf. schéma 4).

Réglage et compactage

Le matériau obtenu est réglé selon le profil déterminé à l'aide d'une niveleuse. Il est ensuite compacté à l'aide d'un cylindre V4, puis d'un compacteur à pneus. Après compactage, le matériau est recouvert d'une couche d'enduit superficiel, assurant à la fois la protection du matériau retraité et autorisant la circulation des riverains dans de bonnes conditions.

Couche de roulement

Enfin, après un délai de quatre à sept jours, la surface retraitée est recouverte d'une couche de surface en béton bitumineux BBS 0/10 R30 (30 % recyclés), d'épaisseur 4 cm (cf. schéma 5).

Mise en œuvre de la solution de renforcement

Dans les zones difficiles d'accès pour l'atelier de retraitement, Eiffage a mis en œuvre une solution de renforcement en grave-émulsion, utilisant un liant innovant, comme alternative au bitume traditionnel, baptisé Recyctal. Adapté à un trafic faible à moyen (jusqu'à T2), ce nouveau type de matériau a été fabriqué à froid dans l'usine d'enrobage d'Istres, à partir des matériaux issus de la déconstruction d'anciennes chaussées et de poix, coproduit résineux issu de la sylviculture et de l'industrie papetière française. Il a été ensuite transporté sur le chantier et mis en œuvre sur une épaisseur de 9 cm, de manière traditionnelle avec un finisseur (cf. schéma 6).

Une couche de surface – constituée d'un BBTM 0/10 R30 (30 % recyclés) et d'épaisseur 2,50 cm – est réalisée sur la grave-émulsion. En tout, 4 000 m² de renforcement avec Recyctal ont été réalisés sur les chemins communaux d'Aix-en-Provence (cf. schéma 7).

Environ 2 000 transits de poids lourds supprimés

Au total, lors de ce chantier, 115 000 m² de chaussées ont été retraités en place. Sachant que le cahier des charges initial prévoyait un rabotage des chaussées sur 10 cm, avec évacuation des matériaux et réalisation de 10 cm de grave-bitume, la technique du retraitement en place au LHR a permis d'éviter de mettre en décharge 11 500 m³ de matériaux et d'apporter sur place autant de matériaux neufs, ce qui correspond à environ 50 000 tonnes de matériaux qui n'ont pas été générés, ni transportés, ni mis en œuvre. Ainsi, à raison de 25 tonnes de chargement par véhicule, on peut estimer qu'environ 2 000 transits de poids lourds ont été supprimés, ce qui a épargné les voies d'accès au chantier. Une équation au résultat positif, du point de vue tant environnemental qu'économique.

Le chantier s'est achevé en novembre 2019, après deux mois et demi de travaux.

BILAN

« Les solutions d'entretien mises en œuvre dans la commune d'Aix-en-Provence sont des solutions "bas carbone", qui ont fait l'objet d'un calcul d'émissions de CO₂ avec le logiciel SEVE. Par rapport à la solution de base, la diminution des émissions de CO₂ est de 38 %, ce qui représente une économie de 650 tonnes en équivalent de CO₂ », se félicite Eiffage Route.



▲ Difficulté : l'étroitesse des voies (< 3,50 m).

Pour un coût global de voirie réduit de 30 %, le chantier des chemins communaux aixois est également parvenu à diminuer de façon optimale les émissions de gaz à effet de serre, notamment par la baisse significative des déplacements d'engins, rendue possible par la technique du retraitement en place au liant hydraulique routier. Autre bénéfice non négligeable : la méthodologie et la vitesse d'exécution de l'opération, qui ont permis de réduire de manière considérable les nuisances pour les riverains, engendrées habituellement sur un tel chantier. Tirant les enseignements de l'opération, Maryse Joissains-Masini, première magistrate d'Aix-en-Provence, résume ainsi son point de vue : « *Quand je compare le coût de l'opération au coût initial et que je constate la quantité de CO₂ économisée, je suis un maire heureux.* » ■

EN QUELQUES CHIFFRES

- > **29 km** de chemins communaux
- > **119 000 m²**
- > **+ de 2 500 tonnes** de LHR Vicat LV-TS 13 fabriquées localement
- > **38 %** d'émissions de CO₂ en moins
- > **soit 650 tonnes** de CO₂ économisées
- > **2,5 mois** de travaux

LIENS UTILES

> **Ville d'Aix-en-Provence**
<http://www.aixenprovence.fr>

> **Vicat**
<http://www.ciment-vicat.fr>

> **Eiffage**
<https://www.eiffageinfrastructures.com>

> **Cerema**
<https://www.cerema.fr>

> **Infociments LHR**
<https://www.infociments.fr/liants-hydrauliques-routiers/>

> **Infociments Routes**
<https://www.infociments.fr/route>

▼ L'un des vingt-six chemins ruraux en cours de réfection. Au total, environ 30 km de voirie ont été rénovés dans les secteurs Puyricard-Couteron-Célony-La Calade-Jas de Bouffan-Les Milles et Luynes.

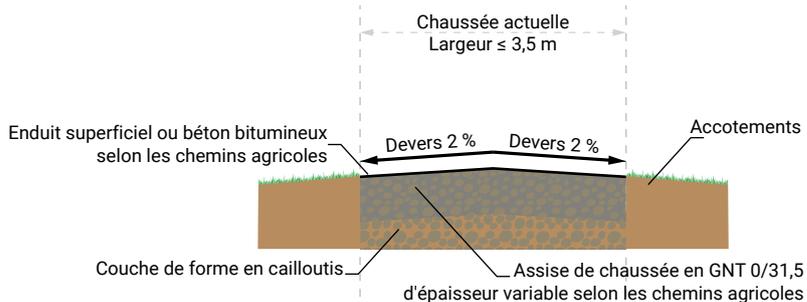


SCHÉMAS TECHNIQUES

Retraitement en place à froid au liant hydraulique routier des chemins agricoles

SCHÉMA 1

COUPE EN TRAVERS-TYPE DES CHEMINS AGRICOLES AVANT TRAVAUX

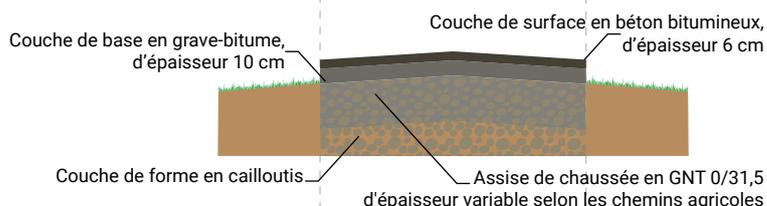


SOLUTION DE BASE

SCHÉMA 2

COUPE EN TRAVERS-TYPE DE LA SOLUTION DE BASE ENVISAGÉE PAR LA MAIRIE POUR L'ENTRETIEN DES CHEMINS AGRICOLES

Après rabotage de la structure existante sur une épaisseur de 10 cm et transport / mise en décharge des matériaux rabotés, mise en place d'une couche de base en grave-bitume d'épaisseur 10 cm et d'une couche de surface en béton bitumineux d'épaisseur 6 cm.



VARIANTE RETRAITEMENT

SCHÉMA 3

COUPE EN TRAVERS-TYPE DE LA VARIANTE "RETRAITEMENT" DE L'ENTREPRISE APRÈS L'ÉPANDAGE DU LIANT

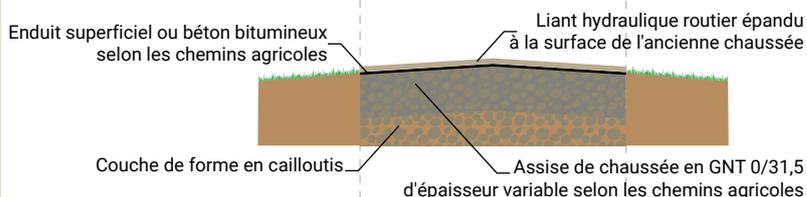


SCHÉMA 4

COUPE EN TRAVERS-TYPE DE LA VARIANTE "RETRAITEMENT" DE L'ENTREPRISE APRÈS LE MALAXAGE DU LIANT ÉPANDU ET DES MATÉRIAUX DE L'ANCIENNE CHAUSSÉE

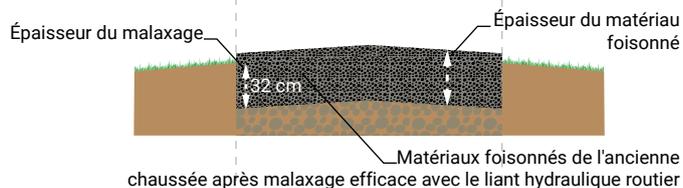
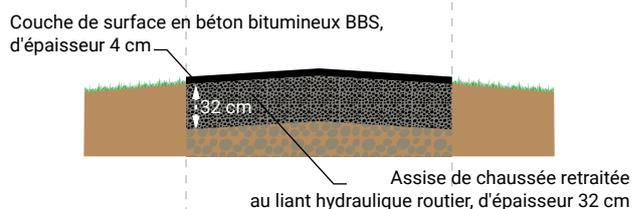


SCHÉMA 5

COUPE EN TRAVERS-TYPE DE LA VARIANTE RETRAITEMENT DE L'ENTREPRISE APRÈS RÉGLAGE, MISE AU PROFIL, COMPACTAGE ET MISE EN ŒUVRE DE LA COUCHE DE SURFACE EN BÉTON BITUMINEUX BBS, D'ÉPAISSEUR 4 CM



VARIANTE ALTERNATIVE

SCHÉMA 6

COUPE EN TRAVERS-TYPE DE LA VARIANTE ALTERNATIVE "RENFORCEMENT" DE L'ENTREPRISE APRÈS MISE EN ŒUVRE DE LA COUCHE DE BASE EN GRAVE-ÉMULSION

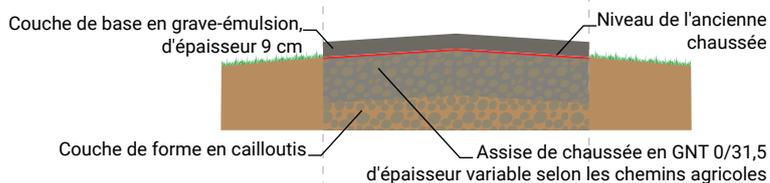
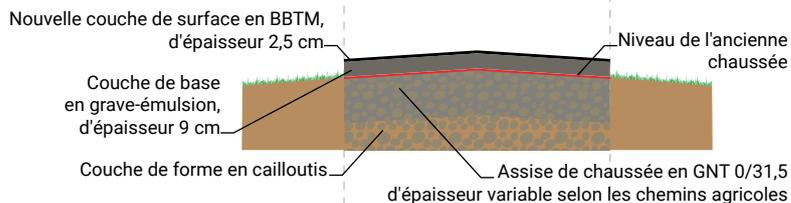


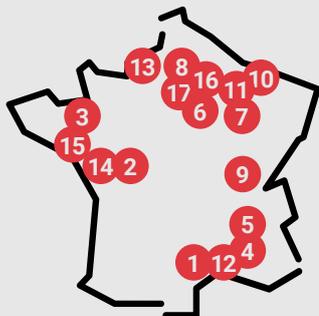
SCHÉMA 7

COUPE EN TRAVERS-TYPE DE LA VARIANTE ALTERNATIVE "RENFORCEMENT" DE L'ENTREPRISE APRÈS MISE EN ŒUVRE DE LA COUCHE DE SURFACE EN BBTM, D'ÉPAISSEUR 2,5 CM



Chaussée actuelle
Largeur ≤ 3,5 m

Quelques références de chantiers de retraitement



Vidéos et logiciels

À retrouver sur infociments.fr



Journées techniques LHR

À retrouver sur infociments.fr

Ces journées d'information sur la valorisation des matériaux en place aux liants hydrauliques routiers s'adressent à tous les acteurs concernés par la construction et l'entretien des routes : les élus et leurs services techniques, les bureaux d'études et tous les professionnels de la route.

Bibliographie

À retrouver sur infociments.fr

T 71

L'entretien structurel des chaussées souples et semi-rigides
Le retraitement en place à froid aux liants hydrauliques
CIMbéton, 2013.

T 58 et C 58

Retraitement en place à froid des anciennes chaussées aux liants hydrauliques
CCTP-Type, CIMbéton, 2008.

T 31

Étude comparative en technique routière
Retraitement des chaussées en place vs renforcement
Méthode graphique de comparaison économique et environnementale
CIMbéton, 2010.



Guide technique

Retraitement en place à froid des anciennes chaussées
SETRA / LCPC, 2003.

En route vers le développement durable

L'entretien des chaussées en place aux liants hydrauliques
CIMbéton, 2013.

Direction de la publication : François Redron
Direction de la rédaction, coordinateur des reportages : Joseph Abdo
Rédaction en chef : Charles Desjardins

Reportages, rédaction : SCML Médias, Joseph Abdo, Étienne Diemert
Direction de projet & direction artistique : Fenêtre sur cour / Studio L&T
Crédits photos chantier : Eiffage Route.

Pour tout renseignement, contacter CIMbéton. 7, place de la Défense 92974 Paris-la-Défense Cedex. Tél. : 01 55 23 01 00 - E-mail : centrinfo@cimbeton.net

L'épandage

1 • Introduction

L'objectif de cette opération est d'épandre le liant hydraulique routier à la surface de l'ancienne chaussée, d'une façon homogène (transversalement et longitudinalement) et précise, de manière que la quantité de liant épandue au mètre carré de chaussée corresponde bien (au coefficient de variation près de la méthode d'épandage) à celle définie dans l'étude de formulation.

2 • Épandage du liant

2.1 / Généralités

L'épandage peut parfois être réalisé manuellement sur le sol préalablement quadrillé, chaque carré définissant la surface sur laquelle un sac complet doit être épandu. Cette solution est techniquement acceptable, mais elle n'est économiquement envisageable que pour des chantiers de petite taille et d'accès difficile.

Dès lors, la livraison de liant pour le retraitement des chaussées se fait systématiquement en vrac et l'apport peut s'effectuer de trois manières différentes :

- > Par apport de liant pulvérulent à la surface de la chaussée à l'aide d'un épandeur, devant la machine de fragmentation.
- > Par apport de liant pulvérulent à l'aide d'une trémie installée sur la machine multifonction, immédiatement devant le rotor de fragmentation.
- > Par introduction du liant sous forme de suspension (eau + liant hydraulique), préparée dans un mélangeur mobile et injectée directement par une rampe soit dans la chambre du rotor de fragmentation, soit dans la chambre de malaxage de la machine multifonction. Dans ce cas, la quantité d'eau est contrôlée par un débitmètre, celle de liant hydraulique de manière pondérale et la suspension par une pompe volumétrique.

En règle générale, l'épandage est réalisé à l'aide d'un matériel spécifique : l'épandeur.

2.2 / Les épandeurs

2.2.1 / Description

Les premiers épandeurs proposaient un dosage simple par unité de temps. La quantité de liant épandue dépendait donc de la vitesse d'avancement, elle-même fixée par le conducteur de l'épandeur.

Étant donné le manque de précision, une deuxième génération d'épandeurs a fait son apparition et dispose d'un système de dosage asservi à la vitesse d'avancement de l'engin, ce qui permet de définir au préalable la quantité de liant épandue au mètre carré. Il existe des épandeurs à dosage pondéral (de moins en moins utilisés), où la vidange du liant est assurée par l'intermédiaire d'une vis d'extraction et contrôlée par un dispositif de pesage. On leur préfère aujourd'hui les épandeurs à dosage volumétrique, où la vidange du liant est effectuée par voie pneumatique, gravitaire ou par fluidisation.

Pour les machines les plus modernes, le système de dosage volumétrique est pourvu d'une trémie de pesage, permettant un réglage encore plus précis de la quantité de liant épandue au mètre carré et donnant un mélange correspondant de mieux en mieux aux exigences fixées en matière d'homogénéité et de performances mécaniques.

En outre, pour améliorer la précision du dosage, les options suivantes sont disponibles sur les épandeurs :

- > Un système de marquage permettant au conducteur de garantir un bon parallélisme des épandages « bord contre bord » ou, mieux encore, avec un chevauchement d'une dizaine de centimètres.
- > Une largeur d'épandage variable afin d'éviter le chevauchement trop important des bandes, lorsque la largeur de la surface à traiter n'est pas un multiple exact de la largeur de l'épandeur.
- > Une alarme s'enclenchant lorsque la trémie est presque vide.



↑ Épandage manuel du liant.



↑ Épandeur.



↑ Atelier de retraitement avec épandeur de liant intégré.

MÉMO TECHNIQUE



↗ Contrôle de l'épandage à la bêche.



↗ Contrôle de l'épandage au bac.

> Un dispositif enregistrant la vitesse d'avancement de la machine et de rotation du tambour de mélange ainsi que les paramètres d'étalonnage et les quantités de produit épandues. Cela permet de réduire les contrôles manuels et d'augmenter la fiabilité générale.

2.2.2 / Critères de performances

Les performances d'un épandeur se jugent par sa capacité à répartir le liant d'une façon homogène et précise, tant longitudinalement que transversalement. La qualité du dosage surfacique est appréciée par un **coefficient de variation du dosage longitudinal (CVL) et transversal (CVT)**. Ces coefficients sont fournis par les fabricants de ce type de matériel, mais peuvent être contrôlés sur chantier, pendant la mise en œuvre. On procède alors de la manière suivante :

- > Des bacs métalliques de dimensions 0,50 x 0,50 m ou des bâches en caoutchouc de dimensions 1 x 1 m sont disposés selon un maillage précis sur la chaussée à retraiter, avant le passage de l'épandeur.
- > Le liant déposé dans les bacs ou sur les bâches, pendant le passage de l'épandeur, est pesé.
- > Le CVL est obtenu en effectuant le **rapport entre l'écart-type et la moyenne de trente pesées représentatives** d'une vidange complète de l'épandeur.
- > Le CVT est obtenu en effectuant le **rapport entre l'écart-type et la moyenne des mesures relevées sur trois profils en travers**, les bacs ou les bâches étant posés de manière jointive sur chacun des profils.
- > L'**exactitude** est définie par l'écart entre valeur moyenne épandue et valeur visée. Compte tenu de la présence sur le marché d'une grande variété de matériels d'épandage – aux performances plus ou moins bonnes en matière de précision et d'homogénéité –, une classification s'impose.

Trois critères de qualification, notés de 1 à 3 (par ordre croissant de qualité), caractérisent les performances des épandeurs :

- > **L** : l'homogénéité longitudinale de l'épandage du liant (en %).
- > **T** : l'homogénéité transversale de l'épandage du liant (en %).
- > **V** : la possibilité de faire varier la largeur d'épandage pour s'adapter à la largeur de travail imposée par la géométrie du chantier ou par la machine de fragmentation, en évitant ainsi de créer des zones sous-dosées ou surdosées en liant.

Dès lors, l'homogénéité de l'épandage s'exprime par un coefficient de variation longitudinale (CVL) et par un coefficient de variation transversale (CVT).

Le tableau ci-après donne les critères de performances et de qualification des épandeurs.

CRITÈRES DE PERFORMANCES ET DE QUALIFICATION DES ÉPANDEURS			
VALEUR DU CRITÈRE	3	2	1
Homogénéité longitudinale L	CVL ≤ 5 %	5 % < CVL ≤ 10 %	CVL > 10 %
Homogénéité transversale T	CVT ≤ 10 %	10 % < CVT ≤ 20 %	CVT > 20 %
Variation de la largeur de l'épandage V	OUI	NON	NON

N°	Masse (kg/m ²)	N°	Masse (kg/m ²)
1	40,000	11	42,000
2	41,000	12	42,800
3	53,200	13	46,800
4	45,400	14	44,200
5	44,200	15	51,000
6	46,800	16	54,200
7	43,600	17	54,000
8	45,400	18	42,200
9	45,000	19	47,400
10	53,200	20	45,600

2.2.3 / Exemple d'application

Cet exemple a pour but de déterminer, à partir des pesées du liant obtenues lors du contrôle d'épandage, la valeur du coefficient de variation longitudinale (CVL) et l'exactitude d'épandage. Les caractéristiques liées à ce chantier sont :

- > Dosage en liant hydraulique routier visé : $d = 6 \%$, soit une quantité de liant visée au mètre carré $qv = 46,1 \text{ kg/m}^2$.
- > Résultat des pesées le long du profil longitudinal (*cf. tableau ci-contre*).

MÉMO TECHNIQUE

• Calcul de la moyenne des pesées

À partir de l'ensemble des mesures effectuées (20 unités), on calcule la moyenne des pesées « X_m ».

$$X_m = \sum_{i=1}^{20} x_i$$

$$X_m = (40 + 41 + 53,2 + 45,4 + 44,2 + 46,8 + 43,6 + 45,4 + 45 + 53,2 + 42 + 42,8 + 46,8 + 44,2 + 51 + 54,2 + 54 + 42,2 + 47,4 + 45,6)$$

$$X_m = 46,4 \text{ kg/m}^2$$

• Calcul de l'écart-type

On calcule l'écart-type « σ » à l'aide de la formule :

avec « x_i » : ième valeur de la série ; « n » : nombre des éléments de la série.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{20} [x_i - x_m]^2}{n}}$$

$$\sigma = \{[(40 - 46,4)^2 + (41 - 46,4)^2 + (53,2 - 46,4)^2 + (45,4 - 46,4)^2 + (44,2 - 46,4)^2 + (46,8 - 46,4)^2 + (43,6 - 46,4)^2 + (45,4 - 46,4)^2 + (45 - 46,4)^2 + (53,2 - 46,4)^2 + (42 - 46,4)^2 + (42,8 - 46,4)^2 + (46,8 - 46,4)^2 + (44,2 - 46,4)^2 + (51 - 46,4)^2 + (54,2 - 46,4)^2 + (54 - 46,4)^2 + (42,2 - 46,4)^2 + (47,4 - 46,4)^2 + (45,6 - 46,4)^2] \cdot 1/20\}^{1/2}$$

$$\sigma = [(40,96 + 29,16 + 46,24 + 1 + 4,84 + 0,16 + 7,84 + 1 + 1,96 + 46,24 + 19,36 + 12,96 + 0,16 + 4,84 + 21,16 + 60,84 + 57,76 + 17,64 + 1 + 0,64) \cdot 1/20]^{1/2}$$

$$\sigma = (375,76 \times 1/20)^{1/2}$$

$$\sigma = 4,33$$

• Calcul du coefficient de variation longitudinale

Des valeurs de X_m et de σ , on déduit le coefficient de variation longitudinale par l'équation :

$$CVL = (\sigma / X_m) \times 100$$

$$CVL = (4,33 / 46,4) \times 100 = 9,33 \%$$

• Calcul de l'exactitude

L'exactitude E est l'écart entre valeur moyenne épanouie et valeur visée.

$$E = X_m - qv$$

$$E = 46,4 - 46,1$$

$$E = 0,3 \text{ kg/m}^2$$

■