



International Bitumen
Emulsion Federation

ÉMULSIONS DE BITUME & DÉVELOPPEMENT DURABLE

LIVRE BLANC



Troisième ÉDITION / Février 2025

AVANT-PROPOS

Les émulsions de bitume jouent un rôle majeur dans la construction et l'entretien des réseaux routiers. Cette approche de préservation des actifs s'aligne sur les principes du développement durable à l'échelle mondiale.

L'IBEF (Fédération internationale de l'émulsion de bitume) met en relation les producteurs d'émulsions de bitume par l'intermédiaire de leurs associations nationales et de leurs partenaires. Elle compte 35 membres répartis dans le monde entier. En tant que référence internationale reconnue, l'IBEF s'engage à améliorer les techniques et à promouvoir l'échange d'informations sur les émulsions de bitume.

Ce livre blanc a pour objectif de présenter les tendances actuelles et futures de l'industrie du bitume dans ce contexte. Il est rédigé en hommage à Carl Robertus, ancien membre du comité exécutif de l'IBEF, dont les apports ont largement contribué à sa création.



CONTRIBUTEURS

AEMA	Arlis A Kadrmas
AEMA	Mike Tyree
AEMA	George Mariani
ARKEMA	Abdeltif Belkahia
REPSOL	Lucia Miranda Pérez
ATEB	Patricia Lameda Febles
IBEF	Carl Robertus
IBEF	Xavier Guyot
IBEF	Etienne Leboutteiller
IBEF	Hamidreza Sahebzamani
Ingevity	Stephane Charmot
SFERB	Brice Delaporte
REA	Dennis Day
SABITA	Phil Hendricks

SOMMAIRE

Introduction	4
1. Pérennité des chaussées	6
1.1 Construction : rôle des couches d'imprégnation et d'accrochage dans la pérennité des chaussées	8
1.1.1 Couche d'imprégnation	8
1.1.2 Couche d'accrochage	10
1.2 Préservation et entretien : principal terrain de jeu de l'émulsion de bitume	13
1.2.1 Traitements préventifs : réduction efficace de l'empreinte carbone	13
1.2.2 Produits et procédés de traitement de surface	14
1.2.3 Caractéristiques uniques et spécifiques de la grave émulsion et de l'enrobé coulé à froid	18
1.2.4 Monocouches simple gravillonnage	20
1.2.5 Analyse du cycle de vie	23
2. Amélioration des structures	24
2.1 Techniques et processus d'amélioration des structures de chaussée	26
2.2 Applications en place ou en centrale	30
2.3 Retraitement « en place, sur route » vs retraitement à distance : mise en évidence des gains d'énergie, de la réduction des émissions de GES et des économies de coûts	31
2.4 Aspects HSE liés à l'application (absence de transport, économies de ressources, etc)	33
3. Impact environnemental et social	34
3.1 Économies d'énergie et réduction de l'empreinte carbone	36
3.2 Options de recyclage économisant les matières vierges (+ énergie et empreinte carbone) et favorisant le multirecyclage	40
3.3 Aspects HSE	42
3.4 Impact social des technologies de l'émulsion de bitume et de leurs applications	44
3.5 Bilan économique des sujets abordés : économies de matériaux et d'énergie	45
Références	47

INTRODUCTION

Cet ouvrage a pour objectif de définir le rôle des émulsions de bitume et de mettre en évidence leur contribution au développement durable et à la réduction de l'impact environnemental des travaux de chaussées, et ainsi de promouvoir leur utilisation dans le domaine de la construction routière.

Les principaux piliers des émulsions de bitume en matière de développement durable sont :

Pilier 1 – Pérennité des chaussées :

- L'objectif principal consiste à optimiser ou à maximiser la pérennité et la durée de vie des chaussées.
- Les techniques et traitements à l'émulsion de bitume jouent un rôle crucial dans l'atteinte de cet objectif.
- Les sous-piliers décrivent plus en détail les stratégies visant à améliorer la pérennité des chaussées.

Pilier 2 – Amélioration des structures de chaussée :

- La réhabilitation se concentre sur la rénovation de la capacité structurelle des chaussées dégradées, bien au-delà des efforts d'entretien et de préservation courants.

Pilier 3 – Impact environnemental et social :

- Ce pilier examine l'impact environnemental et social global des technologies de l'émulsion de bitume et de leurs applications.

1

**PÉRENNITÉ DES
CHAUSSÉES**

1.1 Construction: rôle des couches d'imprégnation et d'accrochage dans la pérennité des chaussées

1.1.1 Couche d'imprégnation

Lors de la construction ou de la réhabilitation des routes, l'imperméabilisation et la stabilisation de la couche de base en granulats sont des étapes cruciales. L'application d'une couche d'enrobé à chaud parfaitement adhérente sur une couche de base en granulats imprégnée minimise les risques de glissement, de fissuration et de rupture du revêtement bitumineux, évitant ainsi des coûts de réparation élevés.

Les couches d'imprégnation sont spécialement conçues pour améliorer l'adhérence entre les couches d'enrobé à chaud et l'assise granulaire ou stabilisée, créant ainsi une fondation plus solide et structurellement plus stable.

L'imprégnation consiste à appliquer un liant hydrocarboné sur une couche d'assise granulaire non bitumineuse comme traitement préliminaire avant l'application d'une grave bitume ou d'un enrobé bitumineux.

Les principaux objectifs de l'imprégnation sont les suivants :

- Favoriser l'adhérence entre l'assise de chaussée et la grave bitume ou l'enrobé bitumineux fraîchement appliqué ;
- Empêcher que l'eau de pluie ne s'infilte dans l'assise tout en permettant l'évaporation de la vapeur d'eau de la couche de base ;
- Minimiser l'absorption du liant dans l'assise lors des opérations de répandage ultérieures ;
- Lier les particules les plus fines en surface de l'assise pour permettre un trafic léger temporaire en attendant l'installation de la nouvelle couche de surface.

Les bitumes fluxés ou fluidifiés ont longtemps été utilisés comme liants d'imprégnation en raison de leur efficacité et de leur procédé de fabrication relativement simple. Toutefois, ils présentent de nombreux inconvénients, notamment un risque d'explosion dû à leur faible point d'éclair, la perte de solvant sous l'effet de la chaleur et des temps de prise trop longs (réf. 1).

En revanche, l'imprégnation à l'émulsion offre plusieurs avantages:

- Aucun risque d'incendie ou d'explosion ;
- Préjudice minime pour l'environnement ;
- Amélioration du pouvoir mouillant et de l'adhérence ;
- Temps de prise plus rapide.

Grâce à ces avantages pratiques et à son application en toute sécurité, l'imprégnation à l'émulsion est un liant adapté aux étapes clés de la construction, contribuant de manière significative à la pérennité des chaussées. (réf. 2, 3).



Figure 1 – Application d'une couche d'imprégnation

1.1.2 Couche d'accrochage

Le dimensionnement en épaisseur suppose que toutes les couches de chaussée fonctionnent collectivement comme une seule couche unifiée, plutôt que comme une série de couches indépendantes empilées les unes sur les autres. Les couches d'accrochage servent de liaison entre chaque couche de chaussée afin de créer la structure de chaussée monolithique souhaitée.

Si une bonne adhésivité n'est pas établie entre la surface de la chaussée existante et le nouvel enrobé bitumineux, un feuilletage peut se produire, entraînant le délitement des couches. Le feuilletage peut occasionner diverses dégradations de la structure, les principales étant les fissurations paraboliques et les fissurations de fatigue (réf. 4).

Ces défaillances nécessitent un entretien coûteux, comme l'application d'une couche de renforcement ou le fraisage et le remplacement des couches non adhérentes. L'importance de la qualité des couches d'accrochage ne peut être surestimée. Les conséquences de l'omission ou de l'application insuffisante d'une couche d'accrochage sont bien plus importantes que les économies initiales apparemment réalisées (réf. 5).

En ce qui concerne les couches d'accrochage, il existe plusieurs solutions éprouvées qui dépendent des particularités nationales ou locales. Cependant, les meilleures pratiques recommandées pour obtenir des interfaces de liaison de haute qualité sont les suivantes (réf. 6, 7):

- L'émulsion de bitume cationique à rupture rapide est un produit traditionnellement utilisé pour les couches d'accrochage, contenant généralement de 50 à 65 % de bitume. L'émulsion modifiée par des polymères, avec ajout de latex ou modification du bitume de base avant l'émulsification, est fortement recommandée, en particulier sous les couches de roulement minces.
- Le taux de répandage de la couche d'accrochage doit être d'au moins 0,30 l/m² de liant résiduel; ce dosage doit être augmenté sous des couches de roulement minces ou drainantes pour atteindre au minimum 0,40 l/m² de liant résiduel.

- Le liant doit être appliqué, de préférence à l'aide d'une répandeuse étalonnée, aussi uniformément que possible pour obtenir une couverture complète et uniforme de la surface existante.
- Avant d'appliquer la couche d'accrochage, toutes les matières libres, adhérentes ou sèches doivent être retirées de la surface; quant aux zones humides, elles doivent être complètement exemptes d'eau stagnante.

Le « trackless » ou « liant d'accrochage sans trace » constitue une avancée significative dans la technologie des couches d'accrochage. Il est spécialement conçu pour améliorer les performances de la chaussée en minimisant les problèmes d'orniérage associés aux produits traditionnels. Ces matériaux sont généralement formulés pour durcir rapidement et adhérer le moins possible aux pneus des véhicules (réf. 8).



Haut: Figure 2 - Application d'une couche d'accrochage

Bas: Figure 3 - Liant d'accrochage sans trace - L'émulsion n'est pas absorbée par les pneus du camion



1.2 Préservation et entretien : principal terrain de jeu de l'émulsion de bitume

1.2.1 Traitements préventifs : réduction efficace de l'empreinte carbone.

Les traitements préventifs permettent d'optimiser la longévité des chaussées existantes en diminuant efficacement le carbone incorporé dans leur cycle de vie et en préservant les ressources naturelles. Les traitements de préservation des chaussées ont récemment connu une légère hausse de leur utilisation en raison de la prise en compte, par les agences, des coûts du cycle de vie à différents stades. Désormais, ces agences évaluent l'ensemble de la charge financière que représente l'entretien d'une route sur une période plus longue, contrairement à l'approche traditionnelle qui consistait à attendre que la route se dégrade avant de la retirer et de la remplacer. En retardant les travaux de réhabilitation majeurs, la préservation des chaussées permet d'économiser à la fois l'énergie et les matières premières vierges, rendant ainsi les chaussées intrinsèquement durables.

La phase de production des matériaux est celle qui contribue le plus aux émissions de CO₂e dans le cycle de vie des routes. Cette phase comprend l'extraction des matières premières, la fabrication des mélanges et le transport de l'ensemble vers les sites de fabrication. La phase d'utilisation est le deuxième facteur contribuant le plus aux émissions de CO₂e dans le cycle de vie des routes. La consommation de carburant des véhicules augmente légèrement en raison de la rugosité de la chaussée, mesurée à l'aide de l'indice international de rugosité (IRI) (réf. 9). Bien que l'incidence soit faible par véhicule, l'impact est significatif sur les émissions totales lorsqu'il est appliqué aux routes à fort trafic. Les auteurs d'une étude ont pu déterminer un facteur de consommation de carburant pour différentes valeurs de l'IRI (réf. 10).

Dans la pratique actuelle, certaines agences s'appuient sur l'approche dite du « worst first » (le pire en premier), ce qui signifie qu'elles n'entretiennent les routes que lorsqu'une réhabilitation majeure s'avère nécessaire.

Or, au cours des 75 premiers pour cent de la vie d'une route, sa qualité connaît un déclin de 40 %. Elle continue ensuite de se détériorer de 40 % supplémentaires en seulement 12 % de plus de sa durée de vie (source : roadresource.org). Cette approche du « worst first » ne permet pas d'optimiser la phase de production ou d'utilisation des matériaux de base. En outre, si la route est fortement dégradée et n'est pas réparée, les véhicules consomment davantage de carburant.

Pour maximiser l'investissement initial en CO₂e dans nos

chaussées et maintenir les routes en bon état, il est indispensable de les préserver. Les traitements de préservation des chaussées utilisent efficacement deux matériaux qui contribuent à la réduction des gaz à effet de serre : l'émulsion de bitume et l'enrobé bitumineux recyclé.

Ces matériaux réduisent la consommation de bitume et de granulats vierges. En outre, de nombreux traitements de préservation des chaussées ne nécessitent pas l'utilisation d'une centrale d'enrobage. En plus de réduire l'utilisation de matières premières vierges et les opérations en centrale, la préservation des chaussées permet de maintenir les routes en bon état, optimisant ainsi l'investissement initial, tant sur le plan financier qu'en termes d'émissions de CO₂e.

Le temps nécessaire au traitement, les années de service gagnées et la contribution en CO₂e varient en fonction de chaque situation. Le site web Roadresource.org met à disposition un outil de calcul pour évaluer les valeurs monétaires et de durabilité de diverses options de traitements ; il est disponible à l'adresse suivante : <https://roadresource.org/preservation/calculator>. Une étude a par exemple comparé trois traitements de préservation (colmatage des fissures, réfection en couche mince et enduit superficiel d'usure) qui ont tous permis de réduire l'IRI et les émissions de CO₂e au cours du cycle de vie de la route (réf. 11). La plupart de ces traitements offrent également des délais de remise en circulation plus courts que les fraisages d'enrobé à chaud, les remblayages ou les renforcements.

1.2.2 Produits et procédés de traitement de surface

Les chaussées sont généralement affectées par divers facteurs, principalement en raison des conditions climatiques locales et des volumes de trafic. Ces facteurs déclenchent des mécanismes de dégradation, comme l'usure ou le polissage de la surface, qui réduisent le frottement. On peut également citer le vieillissement accéléré causé par une exposition excessive au soleil, qui provoque l'apparition de fissures en surface. Parmi les autres mécanismes de dégradation, on compte la perte d'adhésion et la fragilité structurelle dues à l'infiltration d'eau et aux mouvements du sol, entraînant ainsi la formation de fissures plus profondes.

En outre, les contraintes imposées par le trafic peuvent provoquer la perte et la déformation des granulats ; quant au liant, il vieillit également avec le temps.

Si ces mécanismes de dégradation ne sont pas traités à temps, la chaussée risque de se détériorer prématurément, ce qui nécessitera des réparations coûteuses et la mobilisation de ressources importantes. Toutefois, il existe plusieurs traitements d'entretien qui utilisent les émulsions de bitume. Si ces traitements sont appliqués au moment opportun, ils peuvent contribuer à prévenir l'apparition de fissures en surface, à rétablir l'adhérence, à sceller la surface pour la protéger des rayons du soleil et des infiltrations d'eau, ainsi qu'à résister à l'intensité du trafic. La mise en œuvre de ces traitements permet non seulement de prolonger la durée de vie de la chaussée, mais également de réduire la consommation de ressources et les coûts, à divers degrés.

Les répandages superficiels, notamment de type « fog seal » et les régénérants, peuvent être appliqués précocement pour protéger la surface existante de la chaussée contre l'oxydation superficielle et la formation de fissures. Ces types de répandages en surface ne contiennent généralement pas de granulats ou de produits minéraux supplémentaires. Pour éviter la perte de minéraux, un enduit de scellement peut être appliqué sur les surfaces. Il peut s'agir d'éliminer la poussière et d'emprisonner les granulats sur les enduits superficiels nouvellement appliqués (réf. 12). Les répandages superficiels qui ne contiennent pas de granulats n'améliorent pas le frottement. Ils ne sont pas adaptés aux surfaces très compactées ni à celles ayant perdu de leur texture. Il a été démontré que les émulsions de type « fog seal » diminuaient l'apparition précoce de fissures en surface, prolongeant ainsi la durée de vie de la chaussée et réduisant le départ prématuré de gravillons sur les enduits superficiels fraîchement posés.

Selon les conclusions d'une étude récente, publiée en 2023 (réf. 13), l'utilisation du « fog seal » ralentit de 20 % la formation de fissures en surface sur une durée d'au moins huit ans. Dans une autre étude (réf. 14), il apparaît que l'utilisation du « fog seal » permet de stopper l'oxydation superficielle, ainsi que les infiltrations d'eau sur les surfaces âgées et de réduire le départ de gravillons en début de vie sur les enduits superficiels nouvellement posés.



Figure 5 - « Fog seal » sur un enduit superficiel en milieu rural

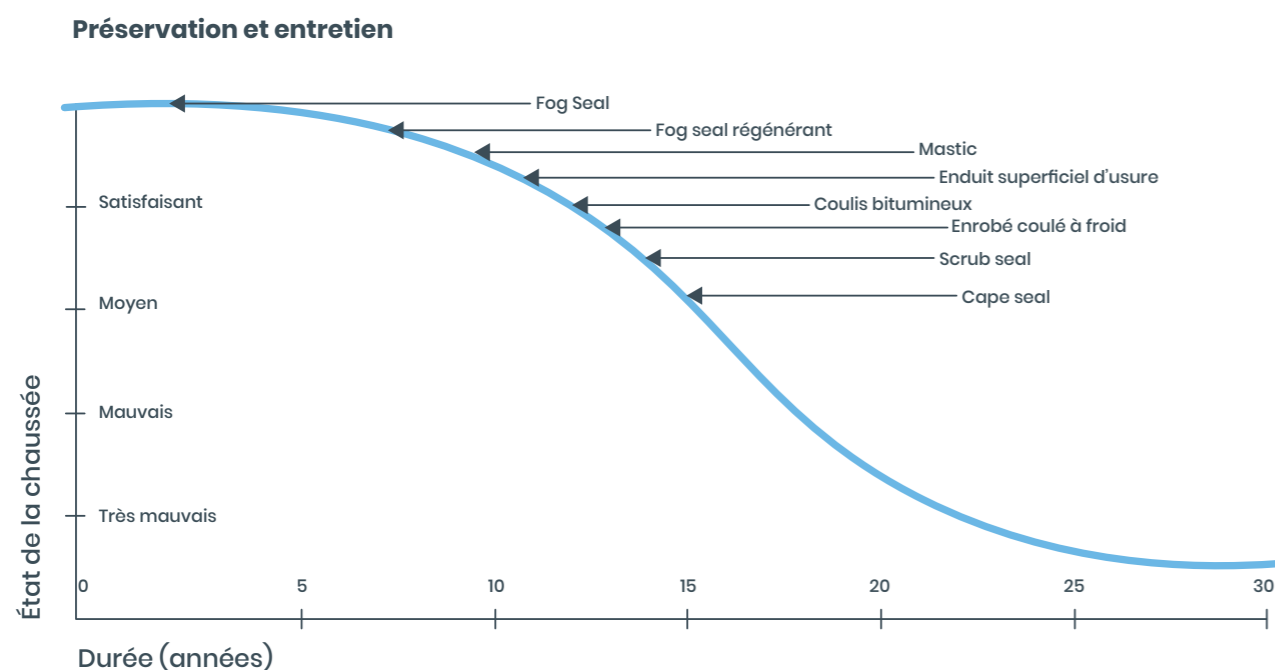


Figure 4- Matrice de traitement, état de la chaussée dans le temps

Les enduits superficiels, les mastics d'étanchéité et les « scrub seals » constituent les répandages de surface qui comprennent des granulats ou des minéraux supplémentaires. Le choix de la méthode et de la période d'application dépend des spécificités du site, de la catégorie de route et du type de dégradation. Ces trois techniques d'entretien permettent d'améliorer l'adhérence et présentent d'autres avantages en matière de durabilité. L'utilisation d'un « scrub seal » régénérant permet de réaliser des économies puisqu'il n'est pas nécessaire de procéder au pontage des fissures. En outre, sur une route très fréquentée, il augmente le frottement (réf. 15). Le dimensionnement et l'application de l'enduit superficiel d'usure sont déterminés par les propriétés du substrat, les conditions climatiques locales et les volumes de trafic (réf. 16, 17). L'enduit superficiel peut empêcher la formation de nids-de-poule en scellant les surfaces, en empêchant les infiltrations d'eau et en prolongeant la durée de vie de la route de manière durable et rentable (réf. 18).

L'application régulière d'un enduit superficiel d'usure, dans le cadre d'un programme d'entretien planifié, peut allonger la durée de vie de la route jusqu'à 60 ans. Il en résulte une économie de 70 % en termes de coûts et une réduction de 69 % des émissions de CO2e par rapport à l'absence de traitement (réf. 18).



Haut: Figure 6 - Gravillonnage sur un enduit superficiel
Bas: Figure 7: Aperçu du « scrub seal »

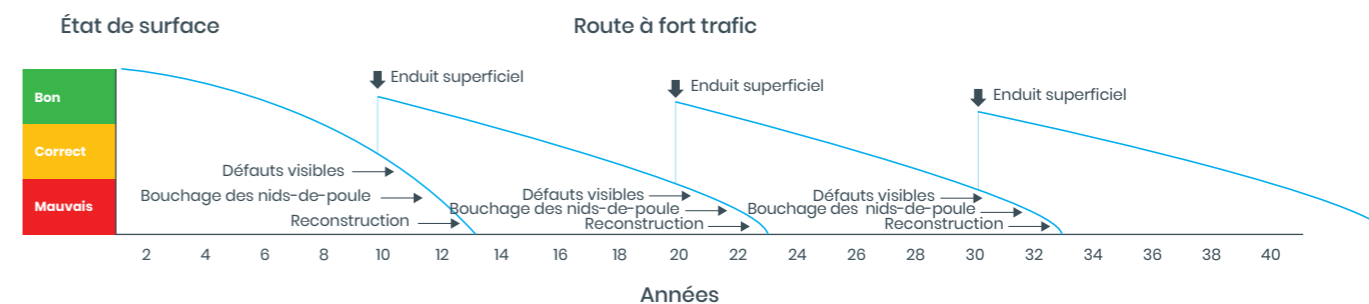


Figure 8 - Programme d'entretien d'une chaussée - Reproduction autorisée par la RSTA

Les mélanges d'émulsion et de granulats offrent généralement une meilleure durabilité que les répandages superficiels. Ils sont souvent désignés sous le nom de « bétons bitumineux à froid ». Les coulis bitumineux peuvent être appliqués manuellement ou à l'aide d'une machine.

D'après une étude (réf. 19), l'enrobé coulé à froid peut prolonger la durée de vie d'une chaussée d'au moins 15 ans en une seule application. Grâce à cette technique, l'autorité routière locale a réalisé des économies substantielles, qu'elle a ensuite pu allouer à d'autres projets.

Les techniques susmentionnées sont toutes efficaces pour prolonger la durée de vie des chaussées et présentent plusieurs avantages en matière de durabilité lorsqu'elles sont appliquées seules. Toutefois, certains traitements combinant un ou deux de ces processus peuvent se révéler encore plus bénéfiques. Le traitement « cape seal », par exemple, est la combinaison d'un enduit superficiel et d'un enrobé coulé à froid, qui offre une plus grande durabilité et réduit le bruit de roulement. En outre,

l'application d'un « fog seal » sur un enduit superficiel fraîchement posé peut permettre de limiter le départ de gravillons en début de vie et d'augmenter la durabilité de cet enduit superficiel.



Figure 9 - Application d'un enrobé coulé à froid

1.2.3 Caractéristiques uniques et spécifiques de la grave émulsion et de l'enrobé coulé à froid.

« La grave émulsion est le matériau par excellence pour le reprofilage », affirme un responsable de l'administration française des routes.

Cette qualité particulière s'explique par le fait que la grave émulsion est un matériau composé de deux phases distinctes : un squelette de gros éléments (de 10 à 20 mm) dans un mortier riche en bitume résiduel. Le frottement interne élevé des gros éléments permet aux matériaux de résister à l'orniérage, malgré leurs différences d'épaisseur. D'autre part, le mortier permet aux matériaux d'adhérer directement à la couche de reprofilage, ce qui entraîne des économies de matériaux additionnelles dans le cas où le reprofilage est l'objectif principal.



Figure 10 - Application de grave émulsion

La grave émulsion est un matériau anti-fissures. Appliquée en couche suffisante, elle peut donc remplacer un système de prévention des remontées de fissures (SAMI, fibres, géotextile, grille, etc.). Lorsque l'organisation des déviations routières devient compliquée, la grave émulsion se révèle praticable, même pendant sa mise en œuvre, grâce à sa capacité de cohésion. C'est le cas des routes en zone vallonnée. Dans ces régions, le revêtement idéal consiste à appliquer une couche de grave émulsion comme couche de base, puis de la recouvrir d'un enrobé coulé à froid.

Il a été démontré que ce système est extrêmement résistant aux lames des chasse-neiges, en particulier lorsque l'accès doit être assuré en permanence, comme dans les stations de sports d'hiver. Dans les zones reculées, les longues distances de transport peuvent compliquer le maintien de la température adéquate des enrobés à chaud, notamment lorsqu'il n'y a pas de centrale d'enrobage à proximité. Dans les régions vallonnées, il est quasiment impossible d'installer des déviations, mais la grave émulsion reste praticable pendant sa mise en œuvre.

Pour les travaux de voirie situés loin des centrales d'enrobage, l'utilisation d'une centrale mobile pour la fabrication de grave émulsion peut s'avérer une solution économique, voire la seule option disponible. Cette situation est fréquente dans les régions montagneuses et, en général, dans les zones à faible densité de population.

L'enrobé coulé à froid donne à la chaussée un aspect similaire à celui d'un mélange bitumineux traditionnel (à froid, tiède ou à chaud). Cependant, sa texture épaisse en fait une option nettement plus avantageuse que de nombreuses autres techniques. L'enrobé coulé à froid est une méthode économique, à condition d'être appliqué correctement. Par exemple, à Versailles, en France, l'utilisation de techniques à base d'émulsion (enrobé coulé à froid et enduit superficiel) a entraîné une baisse des dépenses d'entretien de 25 % (réf. 21).

L'enrobé coulé à froid facilite la mise en œuvre des travaux, car il ne nécessite pas de réglage préalable (sous réserve que la couche de base soit acceptable). L'enrobé coulé à froid permet également d'effectuer des travaux sans recouvrir ni modifier les marquages routiers, les panneaux, la signalisation de surface et les réseaux techniques urbains.

De plus, pour les chaussées dont la déformation est légère, le reprofilage peut être réalisé par la même centrale que l'enrobé coulé à froid. Enfin, la capacité de réouvrir



Haut: Figure 11 - Route en grave émulsion

Bas: Figure 12 - Texture d'un enrobé coulé à froid sur de la grave émulsion

rapidement une route à la circulation après l'application d'un enrobé coulé à froid (moins de 30 minutes) est l'un

des principaux avantages des techniques d'entretien sur les routes fréquentées.

1.2.4 Monocouches simple gravillonnage

L'émulsion de bitume offre une large gamme de traitements de surface, tels que le « scrub seal », le « fog seal », l'enduit superficiel, le coulis bitumineux ou encore l'enrobé coulé à froid.

Chacun de ces traitements de surface peut être associé à un autre, par exemple :

- Enduit superficiel bicouche
- « Cape seal »
- Enrobé coulé à froid bicouche

Le choix des méthodes de traitement les mieux adaptées dépendra de plusieurs facteurs, notamment :

- L'état de la chaussée
- Le volume de trafic attendu
- Les coûts d'entretien

Il est important de noter qu'un traitement de surface s'applique en couche mince et qu'il ne doit pas être considéré comme un procédé de renforcement. Cependant, l'application d'un traitement de surface sur la chaussée améliore son étanchéité et diminue la sensibilité à l'eau du fond de forme, préservant ainsi sa portance.

L'état d'une chaussée dépend principalement de l'état de sa surface, en particulier de facteurs tels que l'adhérence, les légères déformations, l'humidité et la teneur en bitume. Grâce à la variété de traitements de surface disponibles, il est possible de choisir celui qui conviendra le mieux à la situation. On trouve, dans de nombreux pays, dont les États-Unis, des manuels et des guides portant sur les traitements de surface (réf. 22).

La résistance de tout traitement de surface est étroitement liée au volume de trafic qu'il devra supporter. L'utilisation d'un liant modifié peut améliorer sa résistance au cisaillement, qui peut elle-même être renforcée par l'incorporation de fibres dans le système.

Le recours à un système plus épais ou l'application d'une couche plus épaisse du

traitement de surface peut prolonger la durée de vie du traitement.

En ce qui concerne la durée de vie d'une couche de roulement, il faut prendre en compte une plage typique de 10 à 15 ans. (réf. 23).

Le coût reste un aspect crucial lorsqu'il s'agit pour les agences routières de sélectionner le traitement approprié. En règle générale, choisir un revêtement mince moins coûteux plutôt qu'un revêtement épais se traduit par une durabilité réduite. La recherche de la solution la plus rentable doit être une priorité dans le processus de sélection.

L'enrobé coulé à froid s'avère particulièrement adapté aux zones rurales. Par ailleurs, les enduits superficiels conviennent aux surfaces légèrement déformées qui ne présentent pas de problème structurel.



Figure 13 - « Cape seal », Afrique du Sud

Comparativement, il a été prouvé que le risque d'échec est considérablement réduit avec les enduits superficiels à base d'émulsion de bitume par rapport aux enduits superficiels à base de bitume fluidifié (réf. 24).

L'enrobé coulé à froid offre une grande versatilité et peut être appliqué sur du béton bitumineux drainant présentant une détérioration précoce, comme l'arrachement ou le désenrobage des granulats. Le béton bitumineux drainant peut se fragiliser dans des conditions de fort trafic. Dans ces circonstances, l'application d'un enrobé coulé à froid sur le béton bitumineux drainant endommagé renforce sa cohésion, facilitant ainsi son remplacement futur selon les capacités budgétaires de l'agence routière (réf. 25).

Les émulsions de bitume sont de plus en plus utilisées dans le monde entier, supplantant progressivement les procédés de répandage à chaud. Ce changement s'explique principalement par les dangers liés aux systèmes à chaud et les problèmes d'adhérence. La formulation d'émulsions modifiées, dotées d'un liant résiduel hautement cohésif (jusqu'à 1,2 J/cm²) et d'une montée rapide en cohésion, a rendu possible la réouverture rapide de la voie de circulation. Pour les enduits superficiels monocouches, l'utilisation du système à double gravillonnage est recommandée (réf. 26-29). Le terme « enduit monocouche double gravillonnage » désigne un type d'enduit superficiel composé d'une première couche légère de gros granulats, suivie d'une seconde couche de granulats plus petits pour combler les vides entre les gros gravillons.



Haut: Figure 14 - Émulsion modifiée par des polymères pour enduit superficiel
Bas: Figure 15 - Enrobé coulé à froid dans un système à rupture rapide



1.2.5 Analyse du cycle de vie

Afin de choisir le moment optimal pour effectuer les traitements de préservation et d'entretien, ainsi que pour évaluer leur efficacité, il est essentiel de réaliser une analyse du cycle de vie.

Le moment choisi pour la réalisation des traitements de préservation peut avoir un impact considérable sur les avantages apportés à la chaussée. Certaines agences préfèrent attendre qu'une légère détérioration soit visible avant d'appliquer un traitement de surface, tandis que d'autres choisissent d'y avoir recours peu de temps après l'application d'un renforcement ou d'une couche d'entretien plus épaisse. Un essai mené au Minnesota, aux États-Unis, a mis en évidence les avantages d'une application anticipée (réf. 30, 31).

Les traitements d'entretien, comme le retraitement en place à froid (CIR pour Cold In-place Recycling) et le retraitement en profondeur (FDR pour Full-Depth Reclamation) sont généralement effectués lorsque la détérioration de la chaussée est telle qu'un traitement de surface seul ne serait pas rentable. La période de réalisation de ces interventions est généralement déterminée en fonction de la qualité de roulement de la route, de l'accroissement du trafic et des besoins en termes de capacité structurelle de la chaussée.

La comparaison des aspects liés au cycle de vie et à la durabilité quant à l'utilisation de matériaux recyclés est une approche efficace (réf. 32).

En mettant en place un programme d'entretien bien planifié pour les chaussées, y compris des interventions opportunes pour résoudre les problèmes spécifiques, il est possible de réaliser des économies tout en augmentant la qualité générale du réseau routier géré par l'agence (réf. 33).



AMÉLIORATION DES STRUCTURES

2

2.1. Techniques et processus d'amélioration des structures de chaussée

La réhabilitation vise à restaurer la qualité structurelle des chaussées dégradées nécessitant plus que des opérations d'entretien et de préservation courantes. Les techniques efficaces pour y parvenir dépendent des exigences et des spécificités du projet. Ces techniques comprennent :

- Le retraitement en place à froid (CIR)
– Profondeur partielle
- Le retraitement en centrale à froid (CCPR)
- La stabilisation de la fondation
- Le retraitement en profondeur (FDR)
- Le retraitement à froid et à basse température
- L'enrobé à froid stockable (pulvérisation et mélange manuel)

Le retraitement à froid désigne la réhabilitation des enrobés bitumineux sans utilisation de chaleur pendant la phase de construction. Les solutions de retraitement peuvent inclure des méthodes en profondeur totale ou partielle (réf. 34-37). Le CIR en profondeur est communément appelé retraitement en profondeur (FDR). Les techniques de retraitement à froid, en place ou en centrale, en profondeur partielle, impliquent généralement de traiter et de remplacer les anciennes couches de béton bitumineux dégradées. En revanche, le retraitement en profondeur consiste à remplacer intégralement le béton bitumineux, y compris la couche granulaire.

Le retraitement en place à froid (CIR) – Profondeur partielle

Le retraitement en place à froid correspond au processus de recyclage en place d'enrobés bitumineux à l'aide de trains composés d'une ou de plusieurs unités. Le CIR en profondeur partielle recycle généralement les 5 à 12 premiers centimètres du béton bitumineux. Il utilise un train continu, allant du traitement jusqu'au compactage. Le retraitement en place à froid permet de réduire significativement les besoins en transport routier, les délais, la consommation de ressources naturelles et les coûts, grâce à la réutilisation sur place des matériaux existants.

Le retraitement en centrale à froid (CCPR)

Le retraitement en centrale à froid (CCPR pour *Cold Central Plant Recycling*) est un processus de recyclage de l'enrobé bitumineux qui

se déroule dans un endroit centralisé grâce à une centrale d'enrobage à froid fixe et à un stock d'agrégats d'enrobés (AE) existant. Ce stock peut être fractionné en différentes tailles d'AE. La centrale fixe peut être spécialement conçue avec des trémies d'AE à froid et un malaxeur, où sont mélangés les AE, l'eau, les fines actives, l'émulsion de bitume et les autres adjuvants. Il peut également s'agir d'un train de retraitement en place à froid, sans fraiseuse, installé de manière fixe.

En règle générale, le CCPR nécessite l'application de couches d'une épaisseur comprise entre 75 et 150 mm, avec la possibilité d'en appliquer plusieurs. Le CCPR est une option intéressante dans les cas où il est impossible de retraiter en place la chaussée existante pour des raisons logistiques, ou si le retrait du béton bitumineux existant est requis pour le traitement des matériaux sous-



Figure 16 - Retraitement en place à froid, en profondeur partielle, avec un train composé de plusieurs unités

jacents. En outre, puisque les stocks d'AE s'accumulent après le fraisage des chaussées en béton bitumineux, le CCPR peut optimiser l'utilisation de ces AE disponibles pour créer des matériaux de revêtement de haute qualité, rentables et écologiques.

Le retraitement en profondeur (FDR)

Le retraitement en profondeur (FRD) est une technique de réhabilitation qui consiste à pulvériser l'ensemble de l'épaisseur de l'enrobé bitumineux, ainsi qu'une partie prédéterminée des matériaux sous-jacents, tels que la couche de base, la couche de fondation ou la couche de forme. Ce procédé permet de créer un matériau homogène et optimisé. Les propriétés des

matériaux retraités peuvent être encore améliorées grâce à une stabilisation au bitume. Le retraitement en profondeur est une option viable pour les chaussées en mauvais état ou nécessitant une amélioration de leur capacité structurelle.

Différents équipements ou configurations sont possibles pour effectuer cette opération. Parmi ceux-ci, on compte le régénérateur, avec ou sans table intégrée, ainsi que l'utilisation possible d'un régénérateur pouvant alimenter directement ou indirectement un finisseur.

La stabilisation de la fondation

La stabilisation de la fondation est une technique de réhabilitation qui consiste à pulvériser et à mélanger les

matériaux se trouvant sous le béton bitumineux (couche granulaire, couche de fondation ou couche de forme). Ce procédé permet de créer une couche homogène et optimisée.

Les propriétés des matériaux retraités peuvent être encore améliorées grâce à une stabilisation au bitume. La stabilisation de la fondation est une option intéressante pour renforcer la structure de la couche de base, éviter de perturber les réseaux techniques sous la couche de base et diminuer l'épaisseur requise du revêtement bitumineux.

Le retraitement à froid et à basse température

L'utilisation d'AE (agrégats d'enrobés) dans les mélanges présente un réel intérêt. En effet, comme ces granulats sont déjà recouverts de liant, la quantité de liant neuf nécessaire pour produire un mélange final contenant une proportion significative d'AE est considérablement réduite.

Une alternative, autre que le mélange d'AE à température ambiante ou « à froid », consiste à utiliser le retraitement à l'émulsion à basse température (réf. 38). Un mélange d'émulsion de bitume à basse température se prépare à une température modérée, généralement comprise entre 80 et 90 °C. Ses propriétés sont similaires à celles d'un enrobé à chaud. Ce procédé est moins énergivore et ralentit le vieillissement. L'émulsion est généralement fluxée et peut s'amalgamer partiellement au liant des AE recyclés. Il existe principalement deux méthodes de fabrication. La première méthode consiste à réchauffer progressivement le mélange d'émulsion de bitume préalablement préparé dans une centrale d'enrobage à froid. Avec cette technique, la teneur en AE peut généralement varier entre 50 et 100 %. La deuxième méthode consiste à enrober des granulats grossiers et/ou fins à basse température avec des AE et une émulsion, où une partie ou la totalité des granulats sont préalablement chauffés.

Les mélanges obtenus peuvent contenir jusqu'à 60 % d'AE.



Haut: Figure 17 - Centrale CCPR
Bas: Figure 18 - Retraitement en profondeur

L'enrobé à froid stockable

Les nids-de-poule qui se forment dans les revêtements en béton bitumineux sont causés par divers facteurs, tels que la circulation, l'infiltration d'humidité et les cycles de gel et de dégel répétés. Il est important de reboucher ces nids-de-poule afin de conserver une qualité de roulement acceptable, de garantir la sécurité des automobilistes et de limiter les dommages causés aux véhicules. Les matériaux de réparation des nids-de-poule peuvent être appliqués manuellement ou à l'aide d'un équipement de réparation à injection par pulvérisation (réf. 39).

L'enrobé à froid stockable injecté par pulvérisation est un processus qui nécessite l'utilisation d'un équipement spécialisé pour mélanger préalablement et simultanément des granulats avec une émulsion de bitume chauffée. Ce mélange est ensuite projeté à travers un tuyau et une buse directement sur le nid-de-poule.

Les mélanges d'enrobé à froid stockable à base d'émulsion peuvent être préparés à partir de granulats non traités ou d'agrégats d'enrobés (réf. 40).



Haut: Figure 19 - Stabilisation de la fondation à l'émulsion
Bas: Figure 20 - Enrobeur-projeteur

2.2 Applications en place ou en centrale

Il est crucial de comprendre et de mesurer les disparités entre les applications en place et celles en centrale en ce qui concerne la sélection des projets, les performances, la rapidité de construction et la durabilité.

L'un des atouts majeurs de l'application en centrale est le contrôle de la consistance et de la qualité du mélange.

Le fractionnement des agrégats d'enrobés (AE) apporte de la consistance. En outre, dans le cadre du processus de contrôle de la qualité, la teneur en eau et la granularité sont des facteurs qui peuvent être facilement mesurés et calculés pour le mélange (réf. 41).

Le retraitement en profondeur (FDR) révèle une dépendance thermique moindre et une raideur accrue à des fréquences basses ou à des températures plus élevées grâce à l'incorporation d'AE et de matériaux non liés. À l'inverse, le retraitement en centrale à froid (CCPR) et le retraitement en place à froid (CIR) sont principalement composés d'AE, qui influencent davantage les propriétés de raideur dépendantes de la température du CIR et du CCPR. Dans certains cas, les prises d'essai FDR ont révélé des déformations permanentes moins importantes que les prises d'essai CCPR et CIR (réf. 42).

Les applications en place présentent des avantages considérables en matière de consommation d'énergie et d'émissions de CO₂e par rapport aux applications en centrale, principalement grâce à l'impact réduit du transport. L'ampleur de cette différence varie en fonction de la distance entre l'emplacement de la centrale et le lieu du chantier.

Les données sur l'analyse du cycle de vie montrent que les technologies de retraitement à froid peuvent réduire la consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre de plus de 50 % et de 40 %, respectivement, par rapport aux méthodes traditionnelles de fraisage et de revêtement. La consommation d'énergie et les émissions de GES associées au retraitement en place à froid sont légèrement inférieures à celles du retraitement en centrale à froid, principalement en raison des incidences liées au transport (réf. 43).

L'application en place présente un autre avantage : elle raccourcit les délais d'exécution, ce qui minimise l'impact sur les usagers. En diminuant le temps de fermeture des voies, on réduit également les temps d'attente et les désagréments pour les usagers de la route.

L'utilisation d'une émulsion de bitume pour stabiliser la fondation granulaire s'avère être une méthode hautement efficace pour la réhabilitation des voies urbaines très fréquentées. Un chantier mené à Las Vegas a démontré qu'il était possible de raccourcir les délais d'exécution de 120 à 40 jours par rapport aux méthodes de reconstruction traditionnelles. Cette réduction du temps a eu un effet positif sur les habitants, les travailleurs et les usagers locaux. La ville a évalué les économies réalisées à environ 322 661 \$, soit une baisse des coûts de 30 % (réf. 44).

2.3 Retraitements « en place, sur route » vs retraitements à distance : mise en évidence des gains d'énergie, de la réduction des émissions GES et des économies de coûts

Le retraitement en place à froid (CIR), en particulier le retraitement en profondeur (FDR), est souvent comparé aux techniques traditionnelles de fraisage et de revêtement, qui impliquent l'enlèvement complet et le remplacement des couches d'enrobé endommagées.

Parmi les techniques de réhabilitation, le retraitement en place à froid reste la solution la plus respectueuse de l'environnement. Plusieurs projets d'entretien des chaussées ont démontré qu'il était possible de réduire de moitié les émissions de gaz à effet de serre (GES) et la quantité d'énergie nécessaire aux procédés (y compris l'extraction des matériaux, la fabrication, le transport et l'application des enrobés) en recourant au retraitement en place à froid à l'émulsion plutôt qu'aux méthodes conventionnelles de fraisage et de revêtement.

D'après le site web roadresources.org, les techniques de retraitement en place à froid sont de 20 à 50 % moins onéreuses que les techniques traditionnelles de réhabilitation ou de reconstruction. Ces économies découlent de plusieurs facteurs :

- Une baisse substantielle de



Haut: Figure 21 - Retraitement en place à froid (France)

Bas: Figure 22 - Retraitement en place à froid (Arabie saoudite)

la quantité de matériaux nécessaires (avec des taux de recyclage supérieurs à 98 %) et du nombre d'opérations de transport (300 trajets en camion évités pour un chantier type). Les dépenses principales sont liées à l'ajout de matériaux, tels que l'émulsion, le ciment et/ou les granulats correcteurs, le cas échéant.

- Une accélération de la vitesse de construction (20 à 40 %

plus rapide que les techniques traditionnelles).

- Une mobilisation réduite de matériel et de main-d'œuvre sur les chantiers.

En tenant compte de tous ces facteurs, les techniques de retraitement en place à froid à l'émulsion représentent la solution optimale pour minimiser l'impact sur l'environnement, gérer efficacement le projet et accroître la rentabilité (réf. 45-47).



2.4 Aspects HSE liés à l'application (absence de transport, économies de ressources, etc.)

Le retraitement en place à froid présente également des avantages significatifs en matière d'hygiène, de sécurité et d'environnement (HSE). En effet, les risques d'incidents potentiels pendant les opérations sur site sont considérablement diminués, car le fraisage, le concassage et le mélange des matériaux de voirie sont effectués par une seule et même machine. Grâce à l'absence de transport des déblais, le nombre d'incidents liés au camionnage et à la circulation sur le site est également réduit.

De plus, puisque l'émulsion n'est pas chauffée pendant le processus de retraitement, elle ne génère pas de fumées ni de composés organiques volatils (COV), ce qui crée un environnement de travail plus sûr pour le personnel du site (réf. 48).



Figure 23 - Retraitement en place à froid (Vietnam)

3

**IMPACT
ENVIRONNEMENTAL
ET SOCIAL**



3.1 Économies d'énergie et réduction de l'empreinte carbone

Les enrobés à froid sont fabriqués à partir de granulats, qui peuvent comprendre des agrégats d'enrobés (AE), et d'une émulsion d'enrobage. Contrairement aux enrobés à chaud traditionnels, les enrobés à froid n'exigent aucune étape de séchage ni de chauffage. Puisque le chauffage des granulats et l'évaporation de l'eau sont inutiles, cela entraîne des économies d'énergie. D'un point de vue environnemental, les enrobés à froid sont particulièrement intéressants (réf. 49-53).

Fabrication des enrobés à froid en centrale

De nombreuses études ont permis d'évaluer l'empreinte environnementale des enrobés à froid. Lorsqu'on compare la consommation énergétique de la production d'un enrobé à froid avec celle d'un enrobé à chaud, on observe les tendances suivantes:

- Une légère augmentation de la composante « matières premières », qui est attribuée à la fabrication de l'émulsion.

- Une forte diminution de la consommation d'énergie lors de la phase de fabrication en centrale, en raison d'une chauffe inexistante dans le cas des enrobés à l'émulsion.
- Globalement, si l'on considère l'ensemble du cycle de vie (du berceau à la tombe ou à la mise en œuvre), une diminution significative de l'énergie consommée dans le cas des enrobés à l'émulsion.

Dans l'exemple représenté sur la figure 24, l'écart est de -33 % (du berceau à la pose). Cet écart peut atteindre -50 % dans certains cas, en fonction des composants et des distances de transport considérées.

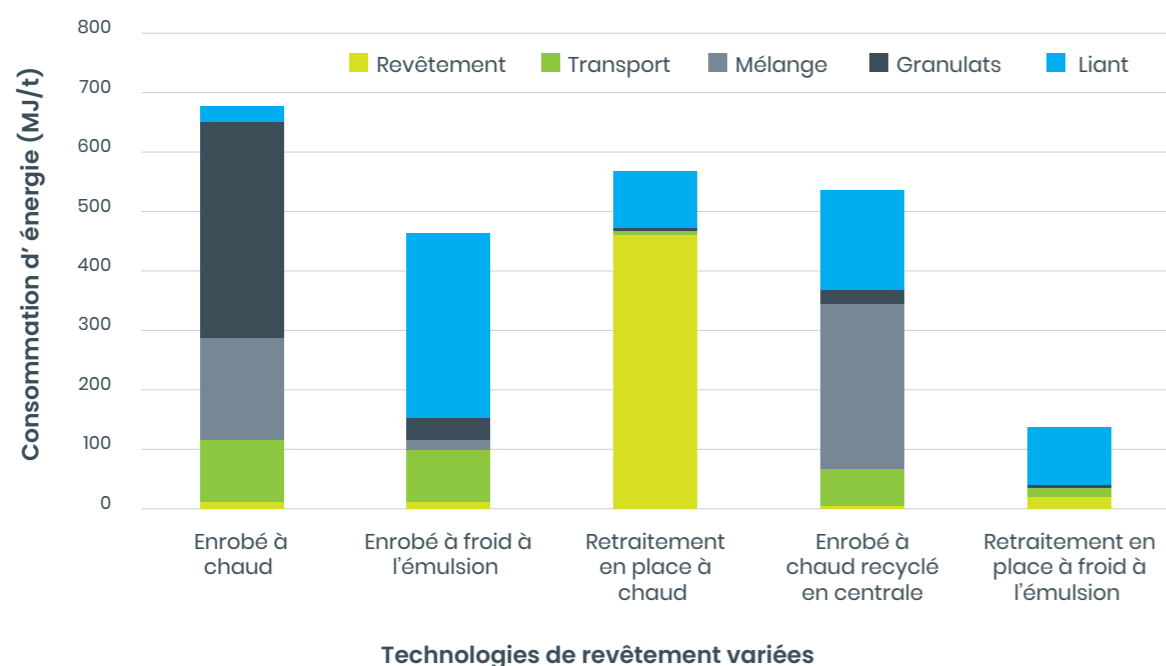


Figure 24 - Consommation énergétique de différentes technologies de revêtement

Le procédé de fabrication à l'émulsion a également un impact considérable sur les émissions de gaz à effet de serre (GES). Jain et al. ont par exemple évalué à -32 % l'écart entre les émissions de GES d'un enrobé à l'émulsion et celles d'un enrobé à chaud sur le périmètre « matières premières, fabrication, transport et mise en œuvre » (figure 25). Dans certaines études, cet écart peut atteindre -60 %.

En France, une étude d'analyse du cycle de vie menée par Routes de France a abouti, en 2022, à la publication d'une fiche de déclaration environnementale et sanitaire (FEDS) pour les « chaussées en enrobé bitumineux à l'émulsion pour véhicules légers ». Sur le périmètre « du berceau à la tombe », par rapport à un enrobé conventionnel fabriqué à chaud, la réduction de l'impact ramenée à la tonne d'enrobé est d'environ 21 % sur la consommation des ressources énergétiques (énergie de procédé) et de 31 % sur les émissions de gaz à effet de serre.

Le guide français intitulé « Enrobés à l'émulsion fabriqués en usine » publié par l'IDRRIM (Institut des routes, des rues et des infrastructures pour la mobilité) en 2020 présente plusieurs comparaisons d'impacts environnementaux à l'échelle de matériaux et de chantiers réalisées à l'aide de l'éco-comparateur SEVE. L'exemple représenté dans le tableau 1 concerne un nouveau projet de chaussée type

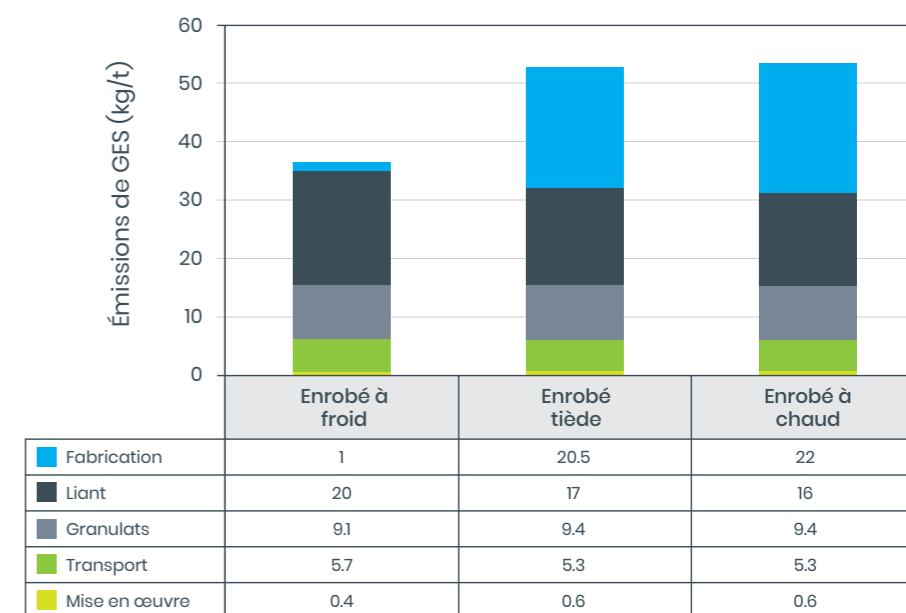


Figure 25 - Émissions de gaz à effet de serre de différents enrobés bitumineux

Solution	Matériaux	Transport amont	Fabrication du mélange	Transport sur site	Mise en œuvre	Total	Comparaison
12GB3+ESU bicouche	4,3	1,7	4,8	0,7	0,0	11,5	
13GE3 (émulsion 40 km) + ESU bicouche	4,6	1,5	0,4	0,8	0,0	7,3	-36,8%
13GE3 (émulsion 40 km) + ESU bicouche	4,6	1,4	0,4	0,8	0,0	7,2	-37,4%

Tableau 1 - Comparaison des émissions de GES (en tCO2e) d'un chantier de 1 000 m2 avec différentes structures de chaussée

d'une superficie de 1 000 m2. Il compare une structure en grave émulsion de 13 cm, avec une variante sur la distance de transport, et une structure en grave émulsion de 12 cm, toutes

deux revêtues d'un enduit superficiel d'usure (ESU) de type bicouche. La réduction en termes d'émissions de GES est d'environ 37 %.

Études de cas par type de structure

La SFERB a mené une étude comparant l'impact environnemental de différents types de structures en fonction de la classe de trafic. Il a par exemple été constaté que les techniques à l'émulsion d'enrobés à module élevé et de grave émulsion (BBE/GE) permettent une diminution des émissions de GES liées à la construction de la chaussée de plus de 50 % par rapport aux techniques d'enrobage à chaud de type BB/GB3 (figure 26). La diminution est d'environ 30 % par rapport à une chaussée en enrobé à module élevé. Il est également possible de consulter les résultats relatifs à la consommation d'énergie.

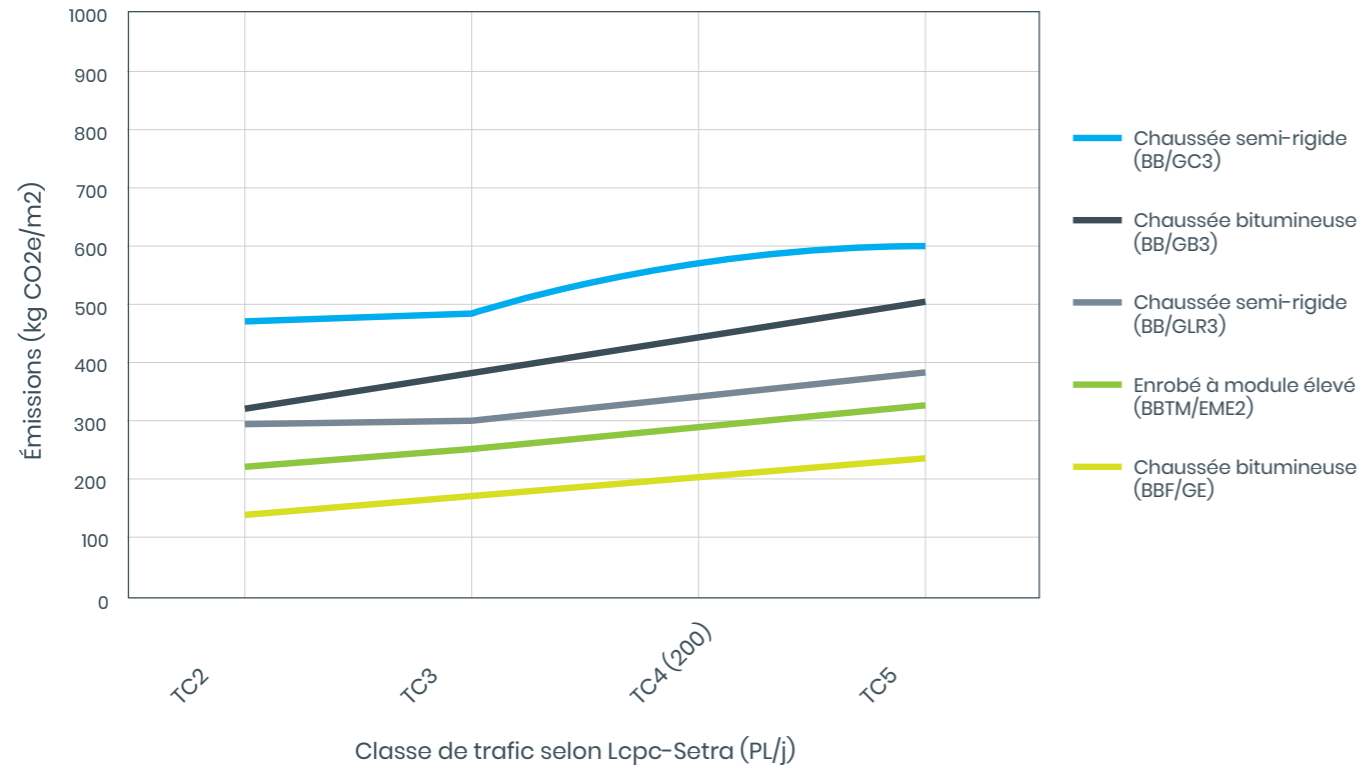


Figure 26 - Émissions de PRP liées à la construction de chaussées, selon la classe de trafic, par m2 de structure de chaussée, sur une plateforme PF2

Retraitement en place à froid

Par rapport aux enrobés à l'émulsion fabriqués en usine, la technique du retraitement en place à froid présente deux avantages complémentaires du point de vue de l'impact environnemental:

- Elle contribue à économiser les ressources naturelles.
- Elle élimine le transport lié à l'acheminement des matériaux, à l'exception d'une

faible proportion de matériaux « correcteurs », comme le liant et les granulats.

Par conséquent, l'impact environnemental est encore plus faible que celui des techniques d'enrobage à chaud.

Xiao et al. ont montré que le retraitement en place à l'émulsion permet d'abaisser la consommation énergétique de plus de 75 %. En France, l'éco-

comparateur SEVE permet d'évaluer entre 55 % et 70 % la diminution des émissions de gaz à effet de serre (GES) selon le cas et les conditions de retraitement.

La réalisation d'une étude paramétrique permettrait de mesurer l'écart des avantages environnementaux entre ces deux pratiques.



3.2 Options de recyclage économisant les matières vierges (+ énergie et empreinte carbone) et favorisant le multirecyclage

La conservation des ressources pour les générations futures est un élément clé du développement durable, sur lequel les politiques de durabilité mettent l'accent depuis des décennies. Pour atteindre cet objectif, il est crucial d'augmenter le recyclage et de diminuer la consommation de ressources naturelles. L'utilisation de traitements et de procédés faisant appel aux émulsions de bitume permet aux propriétaires et aux constructeurs de routes de traiter les routes en place ou d'utiliser des matériaux routiers en fin de vie, y compris des granulats secondaires issus de processus industriels, dans le cadre de projets de réhabilitation ou d'entretien. Ces projets ont l'avantage supplémentaire de réduire la consommation d'énergie et les émissions de carbone qui seraient autrement générées par l'exploitation des carrières et le transport des matériaux.

Enduits superficiels

- Granulats

Auparavant, les déchets de voirie issus de l'application des enduits superficiels d'usure étaient souvent déversés dans des décharges ou réutilisés à d'autres fins. Cependant, grâce à l'apparition de centrales mobiles de recyclage et de lavage, il est désormais possible de stocker et de nettoyer ces déchets de voirie, les rendant ainsi réutilisables dans d'autres projets d'enduits superficiels.

En 2023, une collectivité locale du Royaume-Uni (réf. 54) a utilisé 21 000 tonnes de granulats dans son programme de mise en œuvre d'enduits superficiels. Parmi ces granulats, 12 000 tonnes ont pu être recyclées, ce qui représente une réduction significative de 57 % de la quantité de matières vierges utilisées, sur une distance totale de 220 km de route. En outre, l'excédent de granulats généré lors de l'installation peut être récupéré grâce aux balayures de la nouvelle route, favorisant ainsi le multirecyclage des déchets associés aux enduits superficiels. Cette approche cumulative permet de réaliser des économies à long terme en ce qui concerne l'utilisation des matières premières.

Le laitier cristallisé, qui est un granulats secondaire produit au cours du processus de fabrication de l'acier, est utilisé avec succès depuis plusieurs décennies pour la réalisation d'enduits superficiels.

Son utilisation présente des avantages durables en matière d'adhérence accrue, tout en réduisant la dépendance aux granulats extraits des carrières, ce qui permet d'économiser de l'énergie et de préserver les ressources vierges.

- Agrégats d'enrobés

Un rapport (réf. 55) s'est penché sur l'utilisation des agrégats d'enrobés (AE) et des granulats d'agrégats d'enrobés (GAE) dans les enduits superficiels. Celui-ci met en évidence les avantages de l'incorporation d'AE ou de GAE dans différents traitements, tels que le « scrub seal », l'enduit superficiel d'usure, le coulis bitumineux, l'enrobé coulé à froid et l'enrobé coulé à froid sur CIPR (retraitement en place à froid). Le comté de Los Angeles s'est fixé des objectifs de durabilité pour ses autoroutes en se concentrant sur trois domaines clés : la préservation, la réutilisation et le renforcement. En 2018, environ 35 % du budget du programme de mise en œuvre des chaussées du comté de Los Angeles ont été alloués aux traitements de préservation des chaussées à base d'agrégats d'enrobés. Selon les conclusions du rapport, l'intégration d'AE dans leur programme de durabilité a permis de réaliser des économies de 52 millions de dollars. Elle a aussi entraîné une réduction de 84 % des émissions de gaz à effet de serre, une diminution de 80 % de la consommation d'énergie et une baisse des dépôts en décharge de 765 mètres cubes par rapport aux approches traditionnelles.

Réhabilitation

- Retraitement en centrale à froid

Le retraitement en centrale à froid (CCPR) est un procédé bien établi qui est utilisé à l'échelle mondiale depuis plusieurs décennies. Il consiste à mélanger ex situ des particules bitumineuses retraitées et d'autres matériaux recyclés avec une émulsion de bitume. En 2008, un accord concernant un important axe routier en Écosse (réf. 56) prévoyait la mise en œuvre d'un enrobé à l'émulsion sur un tronçon de 800 mètres.



Figure 27 - Production du CCPR



Figure 28 - Pose du CCPR



Figure 29 - Surface finale du CCPR

- Retraitement en place à froid

Le retraitement en place à froid à l'aide d'émulsions bitumineuses implique la pulvérisation et le réglage in situ de la route existante.

Ce procédé consiste à mélanger le matériau pulvérisé avec une émulsion de bitume, puis à le compacter sans retirer aucun matériau du site.

Dans certains cas, des granulats en faible quantité peuvent être ajoutés afin d'obtenir la granulométrie souhaitée lors de la mise en œuvre.

Grâce au recyclage systématique de tous les matériaux sur place, ce procédé entraîne une réduction significative des besoins en granulats vierges, ainsi qu'une

en centrale à froid réduisait les émissions de CO₂e par tonne de béton bitumineux de 68 % et la consommation d'énergie de 50 %. Après la pose du revêtement, les émissions de CO₂e par mètre carré de béton bitumineux ont chuté de 64 % et la consommation d'énergie de 48 %.

En outre, dans les deux cas, les matériaux du retraitement en centrale à froid ont montré de bons résultats in situ, même après dix ans de service, voire plus.

baisse de la consommation d'énergie et des émissions liées à la livraison de matériaux neufs sur le site. Selon Lysenko (réf. 59), le retraitement en place à froid permet de réduire de 84 % l'énergie totale nécessaire à la construction d'une chaussée et de 85 % les émissions de CO₂e.

3.3 Aspects HSE

Les émulsions présentent plusieurs avantages en matière d'hygiène, de sécurité et d'environnement (HSE), comme la réduction des fumées lors de l'application, ce qui améliore les conditions de travail. Leur impact environnemental peut être évalué par des ACV et communiqué au moyen de FDES, garantissant ainsi la transparence et encourageant les pratiques durables dans le secteur de la construction routière.

Moins de fumées, moins de poussières et faibles émissions de COV

Les matériaux à l'émulsion sont manipulés à des températures plus basses que les matériaux traditionnels à base de bitume, ce qui entraîne une réduction des émissions de fumées, y compris les composés organiques volatils (COV), et une diminution potentielle de la production de poussière pendant l'application.

Amélioration des conditions de travail

Les exigences réduites en matière de température contribuent à un environnement de travail plus sûr. Les émulsions de bitume sont souvent faciles à manipuler et à appliquer, permettant ainsi d'accroître l'efficacité tout en diminuant les efforts physiques pour les travailleurs. Dans leur état émulsifié, les émulsions de bitume sont ininflammables, ce qui renforce la sécurité lors du stockage et de la manipulation. Utilisables dans diverses conditions météorologiques, elles permettent une meilleure flexibilité dans la planification et minimisent les interruptions pour le personnel. Cependant, cela dépendra de plusieurs

éléments, comme la méthode spécifique employée, le type d'émulsion choisie et les mesures de sécurité générales mises en place sur le lieu de travail.

Mesure de l'impact environnemental

La mesure de l'impact environnemental des matériaux de construction grâce à l'analyse du cycle de vie (ACV) consiste à évaluer les contraintes environnementales associées à chaque étape de la vie du produit, depuis l'extraction des matières premières jusqu'à sa fabrication, son utilisation et son élimination. Les ACV fournissent une approche globale pour évaluer l'impact environnemental d'un produit ou d'un procédé.

Il est important de garder à l'esprit que les ACV spécifiques peuvent différer selon le type d'émulsion de bitume, les procédés de fabrication et les facteurs régionaux. Les chercheurs et les professionnels peuvent ainsi effectuer des ACV adaptées à leur contexte particulier pour obtenir des résultats fiables et pertinents. La disponibilité des fiches de déclaration environnementale et sanitaire (FDES) relatives

aux émulsions de bitume peut varier. De plus, le contenu spécifique d'une FDES dépend du fabricant ou de l'organisation qui produit les émulsions. Les FDES sont des documents qui fournissent des informations sur la performance environnementale d'un produit tout au long de son cycle de vie, conformément aux normes établies. Gardez en tête que l'accessibilité des FDES peut fluctuer d'une région à l'autre et que tous les produits ne sont pas nécessairement associés à des FDES.

Voici quelques ressources pour chercher des FDES ou obtenir des informations sur la performance environnementale des matériaux:

- Sites web des fabricants
- Associations industrielles
- Programmes de certification de durabilité
- Agences gouvernementales ou environnementales
- Organismes de certification tiers
- Études de recherche et documentation



Figure 30 - Stabilisation d'une route à l'émulsion de bitume

3.4 Impact social des technologies de l'émulsion de bitume et de leurs applications

L'émulsion de bitume utilisée dans la construction routière améliore non seulement l'efficacité et la durabilité du processus de construction, mais génère également plusieurs impacts sociaux positifs pour les usagers de la route et la population (réf. 62, 63). Les principaux impacts sociaux sont les suivants :

Réduction des odeurs

Les odeurs associées aux applications d'émulsion de bitume sont généralement moins fortes que celles du bitume à chaud. La diminution des odeurs sur les chantiers routiers contribue à un environnement de travail favorable pour les équipes de construction et à une meilleure qualité de vie pour les communautés avoisinantes.

Plusieurs raisons expliquent cette réduction des odeurs. L'application des émulsions de bitume se fait à température ambiante ou légèrement supérieure, ce qui génère moins de fumées de bitume.

Amélioration de l'adhérence

Sur les chaussées bitumineuses, l'adhérence dépend de divers facteurs, notamment le type de granulats, la granulométrie de l'enrobé, la microtexture et la macrotexture superficielle. Utilisée dans diverses applications pour améliorer ou restaurer l'adhérence, l'émulsion de bitume agit sur les caractéristiques de surface de la chaussée nécessaires au frottement.

Voici des exemples typiques d'applications d'entretien utilisant l'émulsion de bitume:

Traitements de surface:

cela comprend les enduits superficiels d'usure, les coulis bitumineux et les enrobés coulés à froid, où les particules de granulats en surface améliorent la microtexture et renforcent potentiellement l'adhérence. L'émulsion de bitume peut également être utilisée comme liant régénérant dans les traitements de surface afin de rétablir les propriétés du bitume vieilli dans la couche de surface et préserver la texture de la chaussée.

Augmentation de la période de travail

The use of bitumen emulsion can assist in relieving traffic disruptions during construction. There are several ways in which bitumen emulsion can help to minimize traffic disruptions, including:

- **Prolongation des délais d'exécution:** les émulsions de bitume peuvent être appliquées à des températures inférieures à celles des enrobés à chaud. La construction par temps plus frais est donc possible lorsque la pose d'un enrobé à chaud ne serait pas envisageable, ce qui offre une plus grande souplesse dans le planning des travaux.

- **Aucun équipement spécialisé/ moins de main-d'œuvre:** les émulsions de bitume ne demandent pas d'équipement de chauffage spécialisé ni de main-d'œuvre importante, ce qui simplifie les questions de transport et de logistique

Sécurité renforcée

L'utilisation de l'émulsion de bitume contribue à bien des égards à l'accroissement de la sécurité pendant la construction et l'entretien:

- Il n'est pas nécessaire de chauffer l'émulsion de bitume, ce qui génère moins de fumées lors de son application.
- Les températures d'application plus basses et la faible volatilité des émulsions minimisent les risques liés au transport et à la manipulation. Les risques de déversement ou d'éclaboussures sont également limités, améliorant ainsi la sécurité.
- En outre, les risques environnementaux sont moins importants pendant les opérations de transport et de construction.

3.5 Bilan économique des sujets abordés : économies de matériaux et d'énergie

Les émulsions de bitume sont utilisées dans divers traitements de surface et applications de retraitement, démontrant ainsi leur capacité à réduire les coûts en minimisant la consommation de matériaux et d'énergie.

Les traitements de surface peuvent être utilisés seuls ou combinés pour allonger la durée de vie d'une chaussée existante et diminuer la consommation d'énergie. Des applications comme le retraitement en place à froid (CIR), la stabilisation de la fondation et le retraitement en centrale à froid (CCPR) réutilisent les matériaux routiers existants. La stabilisation de la fondation et le retraitement en place à froid permettent de réduire les coûts de transport grâce au fraisage, au mélange et à la mise en œuvre des matériaux recyclés directement sur la chaussée.

Des présentations mettant en évidence les avantages de ces applications en termes de performances et d'économies ont été élaborées afin que les usagers puissent mieux saisir leur potentiel (réf. 65, 66).

En abaissant les températures de mélange, les émulsions de bitume permettent de réduire la consommation d'énergie lors de la fabrication de ces mélanges. Cette économie d'énergie est particulièrement notable dans les applications d'enrobé à l'émulsion et de retraitement en place ou en centrale à froid. À noter que les économies d'énergie permises par ces mélanges n'affectent aucunement les performances du produit final.

L'application à plus basse température des émulsions utilisées dans les traitements de surface représente également un argument de poids, puisqu'elle souligne leur faible consommation d'énergie (réf. 64).



Figure 31 : Projet de retraitement

Tableau des sigles et acronymes

Sigle/Acronyme	Définition
GES	Gaz à effet de serre
HSE	Hygiène Sécurité Environnement
CIR/CIPR	<i>Cold In place Recycling</i> Retraitement en place à froid
FDR	<i>Full-Depth Reclamation</i> Retraitement en profondeur
CCPR	<i>Cold Central Plant Recycling</i> Retraitement en centrale à froid
AE	Agrégats d'enrobés
FDES	Fiche de déclaration environnementale et sanitaire
BBE	Béton bitumineux à l'émulsion
GC3	Grave ciment classe 3
GLR3	Grave au liant hydraulique routier classe 3
BBTM	Béton bitumineux très mince
EME2	Enrobé à module élevé de classe 2
BBF	Béton bitumineux à froid
GAE	Granulats d'agrégats d'enrobés
ACV	Analyse du cycle de vie
MSB	Matériau stabilisé au bitume
COV	Composés organiques volatils



Figure 32 - Recyclage en place à froid d'une chaussée à l'émulsion de bitume

Références

1	Congrès mondial de l'émulsion	CEPSA / Maria del Mar Colas	2006	Espagne	New Impregnating Emulsions With Ecologics Fluxes
2	Newsletter Issue 23	Texas Pavement Preservation Center	2011	États-Unis	Evaluation of the Curing Time and Other Characteristics of Prime Coats applied to a granular base
3	Thesis University of Texas	Osman Okuyucu	2014	États-Unis	Comparing Various Characteristics of Oven Cured and Field Cured Prime Coat Materials applied to Granular Bases
4	South African Pavement Engineering Manual	SANRAL	2013	Afrique du Sud	Chapter 9 Extract - Materials Utilisation and Design
5	Annexe au Bulletin CRR n° 90	Centre de Recherches routières	2012	Belgique	Les émulsions cationiques bitumineuses en tant que couche de collage
6	National Cooperative Highway Research Program	Danny Gierhart et David R. Johnson	2018	États-Unis	Tack Coat Specifications, Materials and Construction Practices
7	Technical Data Sheet no. 5	Road Emulsion Association Limited	2023	Royaume-Uni	Bond Coating
8	Japan Emulsified Asphalt Emulsion	JEAA	2007	Japon	Trackless Asphalt Emulsion
9	International Journal of Sustainable Transportation	Department of Civil and Environmental Engineering Rutgers University	2020	États-Unis	Quantifying greenhouse gas emission of asphalt pavement preservation at construction and use stages using life-cycle assessment
10	Transportation Research Part D: Transport and Environment	University of South Florida	2012	États-Unis	Life cycle assessment of pavement: Methodology and case study
11	Materials and Structures Journal	LUNAM Université, IFSTTAR	2012	France	Evaluation of the structure-induced rolling resistance (SRR) for pavements including viscoelastic material layers
12	MTAG Volume I Flexible Pavement Preservation 2nd Edition	Caltrans division of maintenance	2007	États-Unis	Chapter 6 - Fog and Rejuvenating Seals
13	NPPC 2023	NCAT - Adriana Vargas	2023	États-Unis	NCAT Preservation Findings
14	Article web	Bituchem	2012	Royaume-Uni	Fortseal Carriageway Preservation System
15	Article web	Ergon	2015	États-Unis	Scrub seal cuts costs, seals mass cracking
16	TRL	Bateman	2016	Royaume-Uni	Design Guide for Road Surface Dressing
17	Technical report	Oregon DOT & FHWA	2016	États-Unis	Chip Seal Design and Specification Final Report
18	Site web de la RSTA	RSTA/REA	2023	Royaume-Uni	The case for surface dressing
19	Road resource.org	Mississippi DOT	2020	États-Unis	Microsurfacing success story
20	Road resource.org	PPRA	2021	États-Unis	cape seal success story
21	Le Moniteur Magazine	Conseil Général Yvelines	2012	France	Route - Les défis de l'entretien
22	National Cooperative Highway Research Program	Colorado State University / Texas A&M University	2011	États-Unis	Report 680 - Manual for Emulsion Based Chip Seals for Pavement Preservation
23	Publication	ADEPT / RSTA	2017	Royaume-Uni	The Service Life of Road Surface Treatments for Asset Management Purposes

Références

24	SaferRoads Internation Conference	Sean Bearsley - Darcy Rogers	2017	Nouvelle-Zélande	Emulsion Chipsealing: Generating Conscious Capital
25	ISSA 50th Annual Convention	Abdeltif Belkahia	2012	France	High performance laboratory tests for microsurfacing
26	European Roads Review	Colas	2013	France	New High Performance emulsions for surface dressings aimed at heavy traffic with heavy constraints
27	ISSA 51th Annual Convention	Abdeltif Belkahia - Christine Deneuillers	2013	France	French High Traffic Chip Seal
28	RSTA	Paul Boss	2021	Royaume-Uni	Whole lifecycle cost planning for sustainability
29	RSTA Virtual conference	Roy O'Connor	2021	Royaume-Uni	Future Concerns and Positives for the Road Surface Treatment Industry
30	Asphalt Institute Presentation	Minnesota DOT Zeinali . Blankenship Mahboub	2016	États-Unis	Quantifying the Pavement Preservation Value of Chip Seals
31	Road Materials and Pavement Design	Minnesota DOT Zeinali . Blankenship Mahboub	2016	États-Unis	Evaluation of the DC(T) test in discerning the variations in cracking properties of asphalt mixtures
32	Resources, Conservation and Recycling Journal	Giani and al	2015	Italie	Comparative life cycle assessment of asphalt pavements using reclaimed asphalt, warm mix technology and cold in-place recycling
33	Brochure	SABITA	2005	Afrique du Sud	Why you need to maintain surfaced roads
34	FHWA-HIF-17-042, Federal Highway Administration	Wagner, C.	2018	États-Unis	Overview of Project Selection Guidelines for Cold In-place and Cold Central Plant Pavement Recycling
35	National Cooperative Highway Research Program	Stroup-Gardiner, M.	2011	États-Unis	NCHRP Synthesis of Highway Practice 421: Recycling and Reclamation of Asphalt Pavements Using In-Place Methods.
36	Comité Français pour les Techniques Routières (CFTR)	Service d'Étude Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA)	2004	France	Guide technique Retraitement en place à froid des anciennes chaussées.
37	FHWA-HIF-14-001	Asphalt Recycling and Reclaiming Association (ARRA)	2015	États-Unis	Basic Asphalt Recycling Manual (BARM)
38	Sustainability	Ana R. Pasandín, Ignacio Pérez et Breixo Gómez-Mejide.	2020	États-Unis	Performance of High RAP Half-Warm Mix Asphalt
39	National Cooperative Highway Research Program 463	McDaniel, RS., Olek, J., Magee, B. J., Behnood, A., & Pollock, R.	2014	États-Unis	Pavement Patching Practices - A Synthesis of Highway Practice.
40	Construction and Building Materials	Bong Ju Kwon, Dahae Kim, Suk-Keun Rhee, Y. Richard Kim.	2018	États-Unis	Spray injection patching for pothole repair using 100 percent reclaimed asphalt pavement.
41	National Cooperative Highway Research Program 569	M. Stroup-Gardiner	2021	États-Unis	Practice and Performance of Cold In Place Recycling and Cold Central Plant Recycling
42	National Cooperative Highway Research Program 863	Schwartz, C. W., B. K. Die-fenderfer, et B. F. Bowers.	2017	États-Unis	Material Properties of Cold In-Place Recycled and Full-Depth Reclamation Asphalt Concrete.
43	Journal of Cleaner Production	Fan Gu a, Wangyu Ma a, Randy C. West a, Adam J. Taylor a, Yuqing Zhang	2018	États-Unis	"Structural performance and sustainability assessment of cold central-plant and in-place recycled asphalt pavements: A case study"

Références

44	Transportation Research Board Annual Meeting	Finberg, Quire et Thomas	2008	États-Unis	Granular Base Stabilization with Emulsion in Las Vegas, Nevada
45	European Roads Review	S. Bemanian - Optimum Pavement	2007	France	Cold In Place Recycling in Nevada
46	Transportation Research Record 2179	Robinette and Epps	2010	États-Unis	Energy, Emissions, Material Conservation, and Prices Associated with Construction, Rehabilitation, and Material Alternatives for Flexible Pavement
47	Recycled Materials Resource Center	Dr. Arpad Horvath University of California at Berkeley	2004	États-Unis	Report Project 23 A Life-Cycle Analysis Model and Decision-Support Tool for Selecting Recycled Versus Virgin Materials for Highway Applications
48	ISAP Conference 2008	Uhlmeier et al	2008	États-Unis	Case study: Cold In-Place Recycling In Washington State
49	Construction and Building Materials	Xiao et al.	2018	Chine	A literature review on cold recycling technology of asphalt pavement
50	ISAP Conference 2012	Goyer et al.	2012	France	Environmental data of cold mix using emulsified bitumen for a better selection of road materials
51	SFERB	SFERB	2008	France	Bitumen Emulsions handbook
52	E&E Congress 2016	Lundberg et al.	2016	Suède	Production and durability of cold mix asphalt
53	Journal of Cleaner Production	Jain et al.	2021	Inde	Cold mix asphalt: An overview
54	Web	Lincolnshire county council	2023	Royaume-Uni	Dressing up the roads network
55	FHWA	Gregory Duncan et al	2020	États-Unis	Using reclaimed asphalt pavement in Pavement-Preservation Treatments
56	JTTE 2019; 6 (4): 359-365	Day et al	2019	Royaume-Uni	Emulsion cold mix in the UK: a decade of site and laboratory experience
57	ISSA world congress 2010	Day D et al	2010	Royaume-Uni	Developing a Strategy for Sustainable Development and Carbon Management
58	NCC Roads	Lundberg et al.	2016	Suède	Production and durability of cold mix asphalt
59	World of Emulsion Lyon 2010	Lysenko J et al	2010	Australie	Sustainable Development
60	SABITA	SABITA	2020	Afrique du Sud	Technical Guideline TG2 3rd edition Bitumen Stabilised Materials
61	WSP - OPUS Report	Kate Mora, Jeremy Wu, Phil Herrington	2019	Nouvelle-Zélande	Implications of the substitution of Cut-Back Bitumens with bitumen emulsions for chip sealing
62	EDC-4 Pavement Preservation: How Implementation Plan	US Department of Transportation - FHWA	2017	États-Unis	Pavement Preservation: How
63	Best Practices for EMULSION TACK COATS	NAPA - Author Dale S. Decker, P.E.	2020	États-Unis	Quality Improvement Publication 128
64	E&E Congress 2020	Marimar Colás, Vicente Pérez, Antonio García CEPESA	2020	Espagne	High Performance Recycling with Bituminous Emulsions
65	National Pavement Preservation Conference	Adriana Vargas-Nordbeck - NCAT	2023	États-Unis	NCAT Preservation Findings
66	National Pavement Preservation Conference	Jerry Geib - MnROAD	2023	États-Unis	MnROAD NCAT Preservation Study

Membres titulaires



Aema
États-Unis



AfPA
Australie



Asociación Mexicana
del Asfalto, A.C.
Amaac
Mexique



Ateb
Espagne



Fbk e.V.
Allemagne



Jea
Japon



PSWNA
Pologne



Rea
Royaume-Uni



Sabita
Afrique du Sud



Sferb
France



Siteb
Italie

Membres associés



Arkema
France



BASF SE – Asphalt
Performance
Allemagne



BitChem Asphalt
Technologies Limited
Inde



Buckau-Wolf
Allemagne



Chemoran
Irlande



China Emulsified
Asphalt Association
Chine



Enfalt
Turquie



Hincol
Inde



Ingevity
États-Unis



Insung
Corée



Kandovan Pars
Iran



Nouryan
Suède



NTRO
Australie



Ooms Products
Pays-Bas



Paragon
Technical Services
États-Unis



Prasol
Inde



Patpribor Ltd
Bulgarie



Quimi Kao
Mexique



Rad Group
Russie



SAE Fayat Group
France



SurfactGreen SAS
France



Tipco Asphalt
Thaïlande



Total BTM
France



VALOCHEM
France



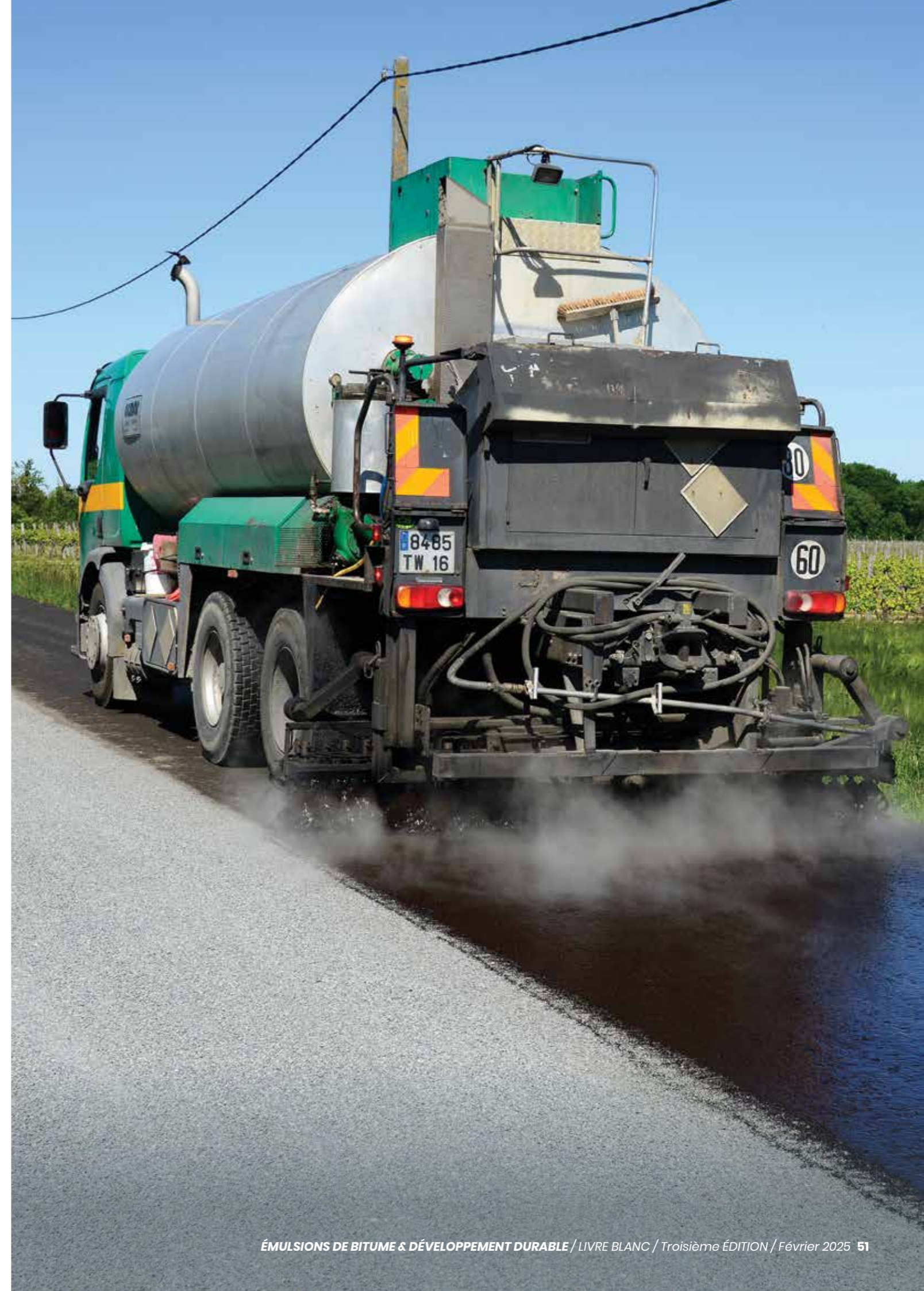
Vialab
France



VIALIT
Autriche



Xi Yuefa Group
Chine





International Bitumen Emulsion Federation

9 rue de Berri – 75008 Paris – France
Tél. +33 1 44 13 32 81
contact@ibef.net