

**CONSTRUCTION ET ENTRETIEN DES ROUTES
LA VALORISATION DES MATÉRIAUX EN PLACE
AUX LIANTS HYDRAULIQUES**

ÉCOLOGIE, ÉCONOMIE ET CONTRIBUTION AU DÉVELOPPEMENT DURABLE

**VOTRE SITE DÉDIÉ :
lhr.cimbeton.net**



JOURNÉE TECHNIQUE CIMBÉTON

Cahier de conférence

CONSTRUCTION ET ENTRETIEN DES ROUTES LA VALORISATION DES MATÉRIAUX EN PLACE AUX LIANTS HYDRAULIQUES

ÉCOLOGIE, ÉCONOMIE ET CONTRIBUTION AU DÉVELOPPEMENT DURABLE

INTRODUCTION	5
CHAPITRE 0 INTRODUCTION	9
CHAPITRE 1 VALORISATION DES MATÉRIAUX EN PLACE POUR LA CONSTRUCTION ET L'ENTRETIEN DES ROUTES	19
CHAPITRE 2 VALORISATION DES MATÉRIAUX EN PLACE : ASPECTS RÉGLEMENTAIRES ET NORMATIFS	21
CHAPITRE 3 TRAITEMENT DES SOLS : PRINCIPES GÉNÉRAUX	27
CHAPITRE 4 TRAITEMENT DES SOLS : RÉALISATION ET CONTRÔLES	34
CHAPITRE 5 RETRAITEMENT DES CHAUSSÉES EN PLACE À FROID AUX LIANTS HYDRAULIQUES	41
CHAPITRE 6 RETRAITEMENT AUX LIANTS HYDRAULIQUES D'UNE CHAUSSÉE CONTENANT DES HAP	55
CHAPITRE 7 RETRAITEMENT D'UNE CHAUSSÉE AU LIANT COMPOSÉ	59
CHAPITRE 8 RETRAITEMENT DES CHAUSSÉES EN PLACE À FROID AUX LIANTS HYDRAULIQUES - RETOUR D'EXPÉRIENCE : A10	65
CHAPITRE 9 RETRAITEMENT DES CHAUSSÉES EN PLACE À FROID AUX LIANTS MIXTES - RETOUR D'EXPÉRIENCE : CHANTIER À L'INTERNATIONAL	71
CHAPITRE 10 VALORISATION DES MATÉRIAUX EN PLACE : ÉVOLUTION DU MATÉRIEL	77
CHAPITRE 11 VALORISATION DES MATÉRIAUX EN PLACE : ASPECTS ÉCONOMIQUES	88
CHAPITRE 12 VALORISATION DES MATÉRIAUX EN PLACE : CONTRIBUTION AU DÉVELOPPEMENT DURABLE	93
CHAPITRE 13 VALORISATION DES MATÉRIAUX EN PLACE : CONCLUSION	93



LE TRAITEMENT ET LE RETRAITEMENT DES MATÉRIAUX POUR INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT : ASPECTS TECHNIQUES, ÉCONOMIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX

Préambule

Pour construire et entretenir son réseau d'infrastructures, la France puise annuellement 200 millions de tonnes de matériaux dans ses réserves naturelles. Ce phénomène n'est pas unique. On le retrouve dans tous les pays du monde.

Les impacts sur le milieu naturel ne sont pas négligeables. Citons entre autres : la réduction des réserves en granulats, les nuisances générées par les transports et les risques induits par le trafic des véhicules, sans oublier le délicat problème de la gestion des rebuts issus de la déconstruction d'ouvrages ainsi que de l'exploitation des gisements.

Or, il est possible d'atténuer cet impact tout en réalisant des économies substantielles, en considérant les matériaux des sites à aménager ou à entretenir comme un gisement que l'on peut valoriser par un traitement approprié. Aujourd'hui, on distingue trois grandes filières de valorisation : le traitement des matériaux naturels en place ou en centrale, le retraitement in situ des chaussées, le recyclage des matériaux issus de la construction-déconstruction d'ouvrages.

La France figure au rang des leaders mondiaux dans les procédés faisant appel à la chaux, au ciment et aux liants hydrauliques routiers. Le Symposium International intitulé "Traitement et Retraitement des Matériaux pour Travaux d'Infrastructures", TREMTI 2005, leur a donné un éclairage particulier en réunissant à Paris, du 24 au 26 octobre 2005, les principaux experts mondiaux d'une activité qui connaît un fort développement depuis une cinquantaine d'années.

Contexte

Il est devenu incontestable que le développement économique passe par le développement des moyens de communication et qu'à ce titre, les infrastructures de transport (routes, chemins de fer, aéroports, voies navigables) jouent un rôle majeur.

La construction et l'entretien d'un réseau de transport moderne et cohérent mobilisent des quantités importantes de matériaux : qu'ils soient non liés, comme les matériaux naturels, les graves non traitées (GNT), ou qu'ils soient traités avec un liant ou un réactif comme le bitume pour faire des graves-bitume, le ciment pour faire des graves-ciment ou du béton, ou la chaux, seule ou en association avec d'autres composants d'apport.

Ainsi, la construction d'une chaussée routière suppose de mobiliser sur une épaisseur pouvant atteindre un mètre, un volume considérable de granulats. En France par exemple, pour entretenir et développer le réseau d'infrastructures, 200 millions de tonnes de granulats sont puisées chaque année dans les réserves naturelles.

En outre, extraire et fabriquer les granulats, les transporter jusqu'au lieu de fabrication, produire les matériaux élaborés ou les mélanges, puis les transporter de la centrale au chantier et enfin les mettre en œuvre, sont des opérations qui ne sont pas sans impact sur l'environnement. Il en est de même pour les opérations d'entretien et de réhabilitation des ouvrages en fin de vie.

Valoriser les matériaux en place pour construire ou entretenir les réseaux d'infrastructures !

Pour limiter les impacts évoqués précédemment et les nuisances générées par le transport (pollutions, bruit, risque d'accidents, dégradation du réseau routier, etc.), une alternative aux solutions traditionnelles consiste à exploiter le gisement constitué par les matériaux présents naturellement sur le projet concerné. Grâce à la technique du traitement des sols à la chaux, au ciment ou aux liants hydrauliques routiers, il est possible de valoriser des matériaux aux caractéristiques initiales médiocres tels que limons, argiles, sables, marnes, matériaux



évolutifs, etc. pour les utiliser en ouvrages de terrassements ainsi qu'en assises de chaussées. Quant aux chaussées anciennes, on peut en retraiter les matériaux in situ plutôt que de les évacuer en décharge pour les remplacer par des matériaux neufs.

Ceci se traduit par une diminution considérable du trafic induit par le chantier. Son volume est divisé par 100, par rapport à une technique traditionnelle. L'impact sur l'environnement est moindre et en accord avec les exigences actuelles du développement durable.

Traitement, retraitement et recyclage

Le traitement des sols pour infrastructures de transport, le retraitement en place des chaussées et le recyclage des matériaux du Bâtiment et des Travaux Publics sont des procédés qui donnent aujourd'hui d'excellents résultats en termes de performances techniques et économiques, ainsi que de respect de l'environnement. La chaux aérienne calcique, le ciment et les liants hydrauliques routiers sont les produits de traitement les plus employés, que ce soit sous forme pulvérulente ou sous forme de coulis.

Le traitement des sols avec un liant (chaux, ciment, liant hydraulique routier) consiste à incorporer ce liant dans le sol, avec éventuellement un complément en eau, et à mélanger le tout plus ou moins intimement, généralement in situ, jusqu'à l'obtention d'un matériau suffisamment homogène pour lui conférer des propriétés nouvelles. Cette technique utilise les affinités chimiques du sol et du liant, par opposition au seul traitement mécanique, comme le compactage.

Le traitement pour l'amélioration des sols, qui vise à modifier les caractéristiques des matériaux, le plus souvent la teneur en eau, pour faciliter leur emploi. Il répond donc à un objectif court terme. Le traitement pour la stabilisation des sols, qui vise à augmenter durablement les performances pour résister notamment aux sollicitations mécaniques et climatiques, et augmenter la durée de vie des ouvrages. Il répond alors à un objectif long terme.

Le retraitement des chaussées en place est une technique destinée à recréer, à partir d'une chaussée dégradée, une structure homogène aux performances adaptées au trafic à supporter. Elle consiste à incorporer au matériau obtenu par fractionnement de l'ancienne chaussée, de la chaux et/ou du ciment ou du liant hydraulique routier, et à les mélanger intimement, in situ, jusqu'à l'obtention d'un matériau homogène et performant.

On réalise ainsi, après réglage et compactage, une nouvelle assise de chaussée sur laquelle on applique, soit une couche de surface, soit d'autres couches de chaussée si la partie retraitée ne peut, à elle seule, supporter les sollicitations du trafic.

Le recyclage des matériaux du BTP est une technique qui consiste à récupérer et valoriser des matériaux provenant des activités de construction (déblais d'excavations ou de tranchées, fouilles d'ouvrages) ou de déconstruction (fines issues de la démolition d'infrastructures...).

Sous la pression réglementaire, confortée par des considérations économiques évidentes, ces matériaux vont de moins en moins en décharge. Ils sont traités à la chaux, au ciment ou aux liants hydrauliques routiers et recyclés, grâce à des procédés technologiques innovants, pour fabriquer de nouveaux matériaux destinés à la construction d'infrastructures (routes, plate-formes).

Avantages du traitement et du retraitement des matériaux

Ils offrent des avantages techniques, économiques, écologiques et environnementaux. Le traitement et le retraitement à la chaux et/ou au ciment ou aux liants hydrauliques routiers permettent l'obtention de matériaux homogènes, durables et stables, présentant



des caractéristiques mécaniques comparables à celles d'une grave-ciment ou d'une grave hydraulique. En outre, ces matériaux se caractérisent par une grande rigidité et une excellente tenue à la fatigue. Ils ont un bon comportement par temps chaud sans déformation, niorniérage et un bon comportement vis-à-vis des cycles de gel-dégel, grâce à la rigidité du matériau et à l'effet de dalle induit.

La réutilisation des matériaux en place et le recyclage des matériaux constituent un facteur d'économie important puisqu'ils réduisent au minimum les déblais issus du décaissement, la mise en décharge, l'apport de granulats et le coût de leur transport. L'absence de transport de granulats ou des déblais en décharge contribue à la préservation du réseau routier, situé au voisinage du chantier. Enfin, ce sont des techniques très économiques, notamment du fait de la durée plus courte des travaux : l'économie réalisée par rapport à une solution classique est de l'ordre de 30 % environ.

Le travail à froid réduit sensiblement la pollution et le rejet de vapeurs nocives dans l'atmosphère. En outre, cette technique permet une importante économie d'énergie globale, par la réduction des matériaux à transporter, des matériaux à mettre en décharge (donc une diminution des impacts indirects, des gênes à l'usager et aux riverains) et de la fatigue du réseau routier adjacent au chantier. La réutilisation des matériaux en place limite l'exploitation des gisements de granulats (carrières, ballastières), ressources naturelles non renouvelables. Ce qui contribue à préserver l'environnement.

Quelques données chiffrées

Il n'est pas facile d'avoir une vue précise de l'activité au niveau mondial, d'autant que nous savons peu de choses sur la situation actuelle en Chine considérée comme le berceau de la technique. Néanmoins, on peut affirmer qu'à ce jour, l'activité est plus particulièrement développée en Amérique du Nord et en Europe.

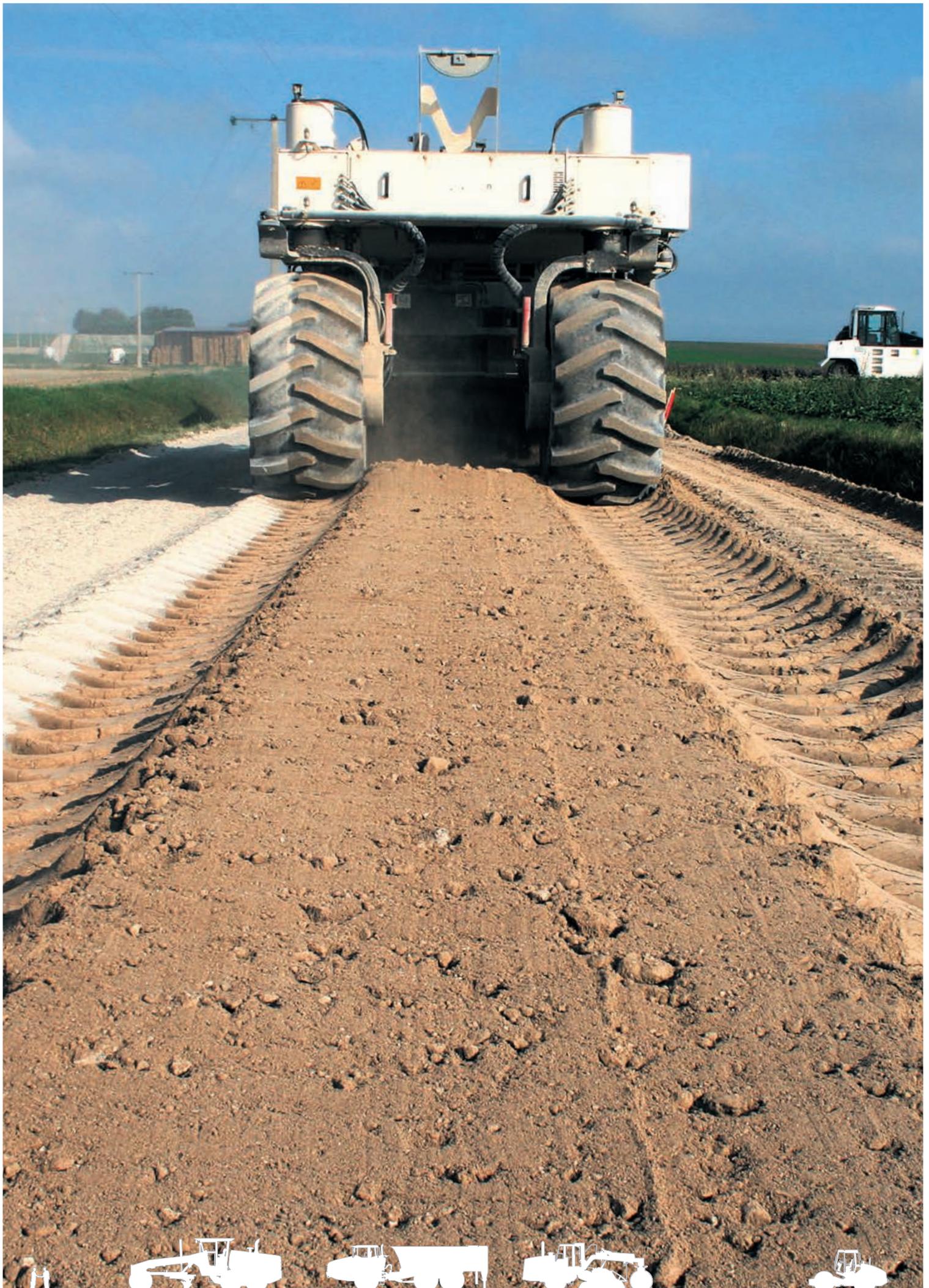
On estime, en effet, que plus de 500 ateliers (un atelier étant composé d'un malaxeur et de la capacité d'épandage associée) évoluent sur chacune de ces deux parties du globe pour faire du traitement en place. Une rapide extrapolation nous permet de penser qu'en tout, plus de 2000 ateliers sont en activité dans le monde.

La France, un des champions du traitement et du retraitement en Europe avec l'Allemagne, consomme annuellement 1,2 à 1,5 millions de tonnes de liants (ciment, liants hydrauliques routiers, chaux) mis en œuvre par environ 150 ateliers de traitement. Cette activité s'est développée par la volonté de la maîtrise d'ouvrage et de la maîtrise d'œuvre publiques qui ont su instaurer un dialogue entre les divers intervenants (prescripteurs, entrepreneurs, fabricants de matériels, producteurs de liants) favorable à la recherche de la compréhension des phénomènes, à l'innovation et à la maîtrise de la technique.

Grâce à cela, la France peut s'enorgueillir d'avoir activement favorisé le développement progressif de ces techniques, jusques et y compris au niveau des couches de chaussée. Elle a aussi contribué au perfectionnement de la technologie (performances des malaxeurs, précision des épandeurs) ainsi qu'à l'évolution des liants vers des produits mieux adaptés aux besoins des opérateurs (liants hydrauliques routiers, liants à faible émission de poussière).

Joseph ABDO
Directeur Délégué Routes
CIMbéton - France





CHAPITRE 0

INTRODUCTION

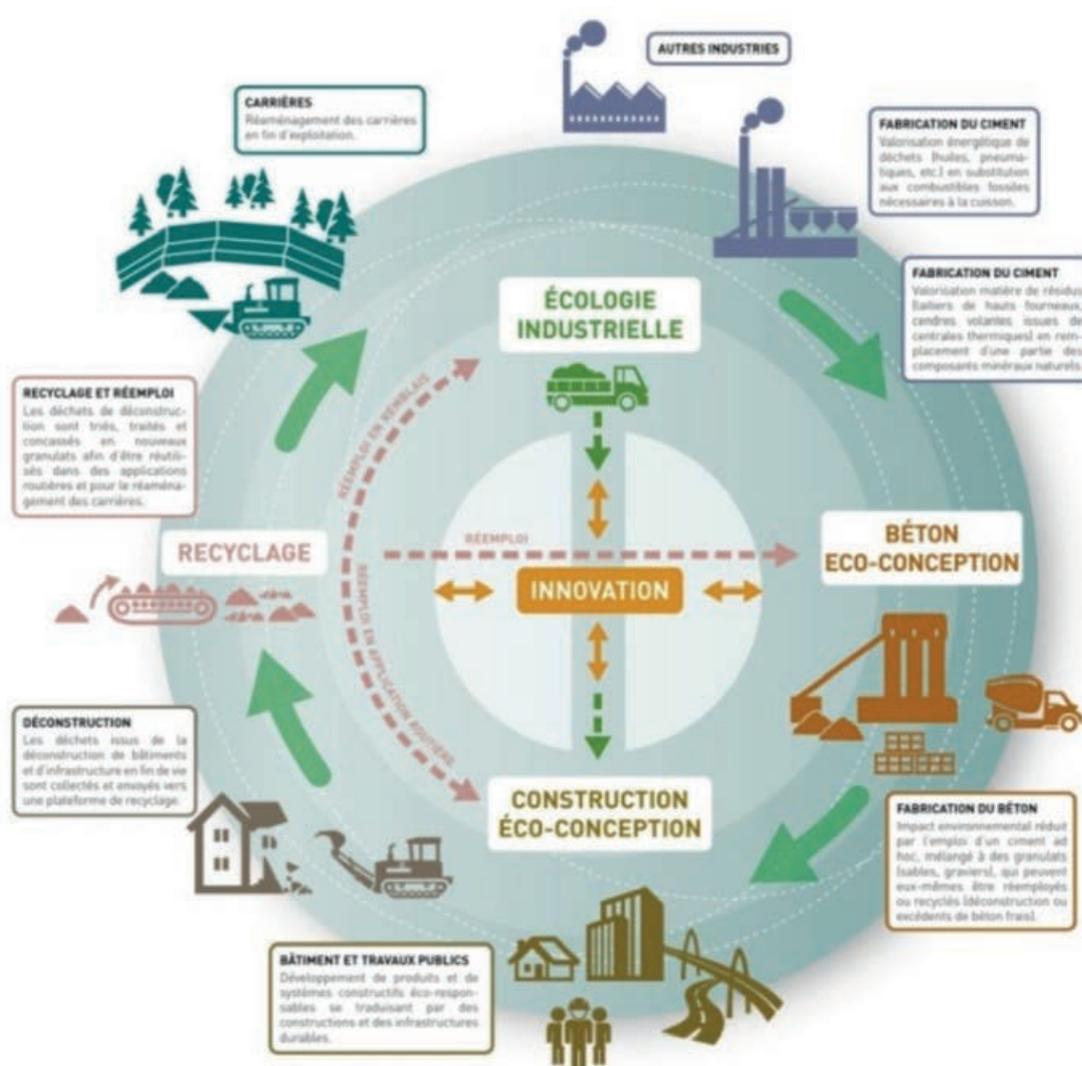
≡ AMÉNAGEMENT DURABLE DES TERRITOIRES	10
≡ UN TOUR DE FRANCE DÉBUTÉ EN 2008	12



Constat

- Depuis 70 ans, la filière ciment / béton s'est structurée pour accompagner le développement des territoires.
 - > Gérer les territoires de façon économique (réduction des coûts de construction et d'utilisation des ouvrages),
 - > Maitriser le développement urbain (densifier, structurer, favoriser les transports collectifs),
 - > Assurer et améliorer le cadre de vie (air, bruit, confort thermique, espaces végétalisés),
 - > Protéger l'environnement (cycle de l'eau, déchets, biodiversité),
 - > Assurer une mixité sociale, une diversité fonctionnelle,
 - > Produire des énergies renouvelables (éolien, méthanisation,..),
 - > Développer l'économie locale (emplois locaux).
- Le ciment et le béton accompagnent le développement des collectivités territoriales. Ils offrent une multitude de solutions pour :
 - > **Mieux Vivre.**
 - > **Mieux Circuler.**
 - > **Mieux Protéger la planète.**

Tout en s'inscrivant dans l'économie circulaire qui relocalise dans les territoires la valeur ajoutée liée à l'innovation et à la mise en œuvre de l'écologie industrielle.



Mieux vivre

Pour habiter, travailler, produire, se détendre, s'instruire,...dans un cadre :

- plus sûr,
 - plus beau,
 - plus confortable...
- et offrir des solutions techniques pour accompagner l'évolution des bâtiments, des territoires et des villes.



Mieux circuler

Améliorer la circulation des personnes, des biens et des fluides pour accompagner le développement économique des territoires, et rendre les déplacements des usagers plus sûrs et plus agréables.



Mieux protéger la planète

Limiter l'empreinte environnementale de nos concitoyens, participer à la réduction des consommations de ressources et d'énergie, contribuer à la protection de la faune et de la flore... le ciment et le béton proposent là encore des solutions !



CHAPITRE 1

VALORISATION DES MATÉRIAUX EN PLACE POUR LA CONSTRUCTION ET L'ENTRETIEN DES ROUTES

≡ LE CONTEXTE	16
≡ LES IMPACTS DES PROJETS ROUTIERS	16
≡ LES SOLUTIONS CIMENT/LHR POUR RÉDUIRE CES IMPACTS	17
≡ BIBLIOGRAPHIE	18



La route, une nécessité

- La route : moyen de communication nécessaire au développement.
 - > Mais, sa construction et son entretien nécessitent beaucoup de matériaux.
- Les matériaux :
 - > Matériaux non liés comme la Grave Non Traitée (GNT),
 - > Matériaux traités au bitume comme les Graves-Bitumes (GB) et les Enrobés Bitumineux,
 - > Matériaux traités aux Ciments ou aux Liants Hydrauliques Routiers pour faire des Graves-Ciment (GC), des Graves-Liants Hydrauliques Routiers ou du Béton de ciment.

La route consommatrice de matériaux

Pour étendre et entretenir le réseau routier en France :

- 180 Millions de tonnes de Granulats sont puisées annuellement dans les ressources naturelles, soit un volume de 100 Millions de m³,
- 3 Millions de tonnes de bitume (sources GPB),
- 1,5 Millions de tonnes de liants hydrauliques (Ciment/LHR - sources SFIC).

LES IMPACTS DES PROJETS ROUTIERS

Les impacts sur le site d'extraction

Impacts importants sur le milieu naturel :

- Perturbation des écosystèmes des rivières dans lesquelles sont dragués les matériaux (Ballastières),
- Nuisances générées par les transports et les risques induits par le trafic des véhicules,
- Réduction des réserves en granulats et pénurie dans certaines régions.

Les impacts durant la construction et l'entretien de la route

- Les étapes :
 - > Extraction et fabrication des constituants élémentaires (Granulats et liants),
 - > Transport des constituants élémentaires jusqu'aux Centrales de malaxage,
 - > Fabrication des matériaux routiers (GB, BB, GC, GLHR, BC),
 - > Transport des matériaux routiers de la Centrale au Chantier,
 - > Mise en œuvre des matériaux pour la construction ou l'entretien de la Route.
- Conséquences :
 - > Épuisement des ressources naturelles : Énergie, eau, granulats,
 - > Impacts sur le milieu naturel : Déchets, acidification, eutrophisation, écotoxicité,
 - > Impacts sur l'environnement : Gaz à effet de serre, ozone.

Les impacts durant l'utilisation de la route

Consommation de carburants :

- Énorme quantité d'énergie consommée par les véhicules sur toute la période de service de la route.
- Conséquences :
 - > Épuisement des ressources énergétiques
 - > Pression énorme sur la faune et la flore
 - de par la barrière parfois infranchissable que la route constitue,
 - des rejets de métaux lourds et des débris en tout genre (pneus, plastique, etc.),
 - des polluants engendrés par le trafic routier (CO₂, NO_x, etc.).

La filière de la valorisation des matériaux

Aujourd'hui, il est possible d'atténuer ces impacts tout en réalisant des économies substantielles, en considérant les matériaux des sites à aménager ou à entretenir comme un gisement que l'on peut valoriser par un traitement approprié.

On distingue deux grandes filières de valorisation :

- Le traitement aux liants hydrauliques des matériaux naturels en place ou en centrale,
- Le retraitement en place à froid des anciennes chaussées aux liants hydrauliques.

Valoriser les matériaux pour construire les routes

Le **Traitement des sols** à la chaux, au ciment ou aux liants hydrauliques routiers :

- Permet de valoriser des matériaux aux caractéristiques inadaptées et non utilisables à l'état naturel tels que limons, argiles, sables, marnes, matériaux évolutifs, etc., pour les utiliser en ouvrages de terrassements ainsi qu'en assises de chaussées,
- Consiste à incorporer un liant dans le sol, avec éventuellement un complément en eau, et à mélanger le tout plus ou moins intimement jusqu'à l'obtention d'un matériau suffisamment homogène pour lui conférer des propriétés nouvelles.

Épandeur de liant



Malaxeur



Sol avant traitement



Sol après traitement



Valoriser les matériaux pour entretenir les routes

Quant aux chaussées anciennes, le **retraitement des chaussées en place** :

- Permet de retraiter les matériaux in situ plutôt que de les évacuer en décharge pour les remplacer par des matériaux neufs,
- Consiste à incorporer au matériau obtenu par fractionnement de l'ancienne chaussée, du liant hydraulique routier, et à les mélanger intimement, in situ, jusqu'à l'obtention d'un matériau homogène et performant.

On réalise ainsi, après réglage et compactage, une nouvelle assise de chaussée sur laquelle on applique :

- soit une couche de surface,
- soit d'autres couches de chaussée si la partie retraitée ne peut, à elle seule, supporter les sollicitations du trafic.



Valoriser les matériaux : les avantages techniques

Techniques au point, codifiées à tous les niveaux,

- Obtention de matériaux homogènes, durables et stables, dotés d'une grande rigidité et d'une excellente tenue à la fatigue,
- Bon comportement par temps chaud sans déformation, ni orniérage,
- Bon comportement vis-à-vis des cycles de gel-dégel, grâce à la rigidité du matériau et à l'effet de dalle induit.



Valoriser les matériaux : les avantages économiques

- Réduction au minimum des déblais issus du décaissement, la mise en décharge, l'apport de granulats et le coût de leur transport,
- Absence de transport de granulats ou des déblais en décharge contribue à la préservation du réseau routier, situé au voisinage du chantier,
- Optimisation de la durée des travaux,
- Economie réalisée par rapport à une solution classique pouvant atteindre 30 %.



Valoriser les matériaux : les avantages écologiques et environnementaux

- La préservation des ressources naturelles non renouvelables (carrières, ballastières) : utilisation des matériaux en place,
- Une importante économie d'énergie globale: réduction des matériaux à transporter, des matériaux à mettre en décharge (donc une diminution des impacts indirects, des gênes à l'usager et aux riverains) et de la fatigue du réseau routier adjacent au chantier,
- Le travail à froid réduit sensiblement la pollution et le rejet de vapeurs nocives dans l'atmosphère.

Le marché mondial du traitement et du retraitement

Techniques principalement développées en Amérique du Nord et en Europe.

On estime, en effet, que plus de 2000 ateliers sont en activité dans le monde, dont environ :

- 600 ateliers (un atelier étant composé d'un malaxeur et de la capacité d'épandage associée) évoluent sur l'Amérique du Nord,
- 600 ateliers en Europe, dont 200 en France.

BIBLIOGRAPHIE



Guide Technique
Réalisation des remblais
et des couches de forme
Fascicule I et Fascicule II
SETRA / LCPC, 1992
(réédité en 2000).



Guide Technique
Retraitement en place
des anciennes chaussées
SETRA / LCPC, 2003.



Guide Technique
Traitement des sols à la chaux
et/ou aux liants hydrauliques
Application en remblais
et couches de forme
SETRA / LCPC, 2000.



Guide Technique
Traitement des sols à la chaux
et/ou aux liants hydrauliques
Application en assises
de chaussées
SETRA / LCPC, 2007.



CHAPITRE 2

VALORISATION DES MATÉRIAUX EN PLACE ASPECTS RÉGLEMENTAIRES ET NORMATIFS

≡ LE CADRE RÉGLEMENTAIRE ET NORMATIF

22

≡ BIBLIOGRAPHIE

25



Définition d'une norme

Une **NORME** est :

- Une **spécification technique** c'est-à-dire un document définissant les caractéristiques d'un produit ou d'un service.
- Le fruit d'un **consensus** entre différents intervenants : fabricants, maître d'ouvrage, utilisateurs...
- Approuvée par un organisme reconnu à activité normative.
- Destinée à une application ou un usage répétés.
- Un **langage commun** et une **référence commune**.

ELLE CODIFIE L'ÉTAT DE LA TECHNIQUE

Les grandes familles de normes

On distingue 3 niveaux de normes

- Les **NORMES FRANÇAISES** (NF) : Documents produits par l'AFNOR.
- Les **NORMES EUROPÉENNES** (EN) : Documents produits par le Comité Européen de Normalisation (CEN) et élaborés par des comités techniques (TC). Les normes européennes approuvées par le CEN sont obligatoirement adoptées comme normes nationales par tous les pays membres donc homologuées comme norme française par l'AFNOR. Lorsqu'une norme est adoptée, elle induit le retrait de toute norme nationale contradictoire.
- Les **NORMES INTERNATIONALES** : Normes mises au point au sein de l'Organisation Internationale de normalisation (ISO), elles ne sont pas systématiquement transposées en normes Françaises.

Les différents types de normes

On distingue :

- Les **NORMES DE MATERIAUX** et **DE PRODUITS** qui définissent en particulier les caractéristiques des composants.
- Les **NORMES D'ESSAIS** qui fixent les méthodologies à respecter pour mesurer les caractéristiques des produits.
- Les **NORMES DE CONCEPTION, DE CALCUL et DE DIMENSIONNEMENT**
- Les **NORMES DE MISE EN ŒUVRE et D'EXECUTION**.
- Les **NORMES D'ORGANISATION**.

Les normes relatives aux liants

Les liants, utilisés dans le traitement des sols et dans le retraitement des anciennes chaussées, doivent satisfaire aux exigences des normes :

- **NF EN 197-1** : « Ciment - Partie 1 : Composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants ».
- **NF EN 459-1** : « Chaux de construction - Partie 1 : définitions, spécifications et critères de conformité ».
- **NF EN 13282-1** : « Liants Hydrauliques Routiers - Partie 1 : composition, spécifications et critères de conformité des liants hydrauliques routiers à durcissement rapide ».
- **NF EN 13282-2** : « Liants Hydrauliques Routiers - Partie 2 : composition, spécifications et critères de conformité des liants hydrauliques routiers à durcissement normal ».

Les normes relatives aux matériaux

Les matériaux, obtenus par les techniques de traitement des sols et de retraitement des anciennes chaussées, doivent satisfaire aux exigences des normes :

- **NF EN 14227-1** : « Mélanges traités aux liants hydrauliques - Spécifications - Partie 1 : Mélanges granulaires liés au ciment ».
- **NF EN 14227-5** : « Mélanges traités aux liants hydrauliques - Spécifications - Partie 5 : Mélanges granulaires traités au liant hydraulique routier ».

- **NF EN 14227-15** : « Mélanges traités aux liants hydrauliques - Spécifications - Partie 15 : Sols traités aux liants hydrauliques ».
- **NF EN 13242** : « Granulats pour matériaux traités aux liants hydrauliques et matériaux non traités utilisés pour les travaux de génie civil et pour la construction des chaussées ».
- **NF EN 13285** : « Graves non traitées - spécifications ».
- **NF P 18 545** : « Granulats - Éléments de définitions, conformité et codification ».
- **NF P 11 300** : « Exécution des terrassements - Classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructure routière ».
- **NF P 11 301** : « Exécution des terrassements - Terminologie ».
- **NF P 98 080** : « Chaussées - Terrassement - Dimensionnement - Partie 1: Terminologie générale ».
- **NF P 98 100** : « Assises de chaussées - Eau pour assises - Classification ».

Les normes relatives à la méthodologie d'étude

Les matériaux, obtenus par les techniques de traitement des sols et de retraitement des anciennes chaussées, doivent satisfaire aux exigences des normes :

- **NF P 98 114-1** : « Assises de chaussées - Méthodologie d'étude en laboratoire des matériaux traités aux liants hydrauliques - Partie 1 : Graves traitées aux liants hydrauliques ».
- **NF P 98 114-2** : « Assises de chaussées - Méthodologie d'étude en laboratoire des matériaux traités aux liants hydrauliques - Partie 2 : Sables traités aux liants hydrauliques ».
- **NF P 98 114-3** : « Assises de chaussées - Méthodologie d'étude en laboratoire des matériaux traités aux liants hydrauliques - Partie 3 : Sols traités aux liants hydrauliques ».
- **NF P 98 230-3** : « Préparation des matériaux traités aux liants hydrauliques ou non traités - Partie 3 : Fabrication en laboratoire de mélanges de graves ou de sables pour la confection d'éprouvettes ».
- **NF EN 13 286-50** : « Mélanges traités aux liants hydrauliques et mélanges non traités - Partie 50 : Méthode de confection par compactage avec un appareillage Proctor ou une table vibrante des éprouvettes de matériaux traités aux liants hydrauliques ».
- **NF EN 13 286-53** : « Mélanges traités aux liants hydrauliques et mélanges non traités - Partie 53 : Méthode de confection par compression axiale des éprouvettes de matériaux traités aux liants hydrauliques ».

Les normes d'essais en laboratoire

Les matériaux, destinés aux techniques de traitement des sols et de retraitement des anciennes chaussées, doivent être caractérisés conformément aux normes :

- **NF P 94 049-1** : « Sols - Reconnaissance et essais - Détermination de la teneur en eau pondérale des matériaux - Partie 1 - Méthode de la dessiccation au four à micro-ondes ».
- **NF P 94 049-2** : « Sols - Reconnaissance et essais - Détermination de la teneur en eau pondérale des matériaux - Partie 2 - Méthode à la plaque chauffante ou panneaux rayonnants ».
- **NF P 94 050** : « Sols - Reconnaissance et essais - Détermination de la teneur en eau pondérale des matériaux - Méthode par étuvage ».
- **NF P 94 051** : « Sols - Reconnaissance et essais - Indice de plasticité Ip ».
- **NF P 94 056** : « Sols - Reconnaissance et essais - Analyse granulométrique - Méthode par tamisage à sec après lavage ».
- **NF P 94 068** : « Sols - Reconnaissance et essais - Mesure de la capacité d'absorption de bleu de méthylène d'un sol ou d'un matériau rocheux - Détermination de la valeur de bleu de méthylène d'un sol ou d'un matériau rocheux par l'essai à la tache ».
- **NF P 94 078** : « Sols - Reconnaissance et essais - Indice CBR après immersion - Indice CBR immédiat - Indice Portant immédiat. Mesure sur échantillon compacté dans le moule CBR ».
- **NF P 94 093** : « Sols - Reconnaissance et essai de compactage Proctor - Détermination des références de compactage d'un matériau - Essai Proctor modifié - Essai Proctor normal ».
- **NF P 94 100** : « Sols - reconnaissance et essais. Matériaux traités à la chaux et/ou aux liants hydrauliques. Essai d'évaluation de l'aptitude d'un sol au traitement ».
- **NF EN 13286-2** : « Mélanges traités aux liants hydrauliques et mélanges non traités - Partie 2 : Méthodes d'essai de détermination en laboratoire pour la masse volumique de référence et de la teneur en eau. Compactage Proctor ».
- **NF EN 13286-3** : « Mélanges traités et mélanges non traités aux liants hydrauliques - Partie 3 : méthodes d'essai de détermination en laboratoire de la masse volumique de référence et la teneur en eau - Vibro-compression à paramètres contrôlés ».

- **NF EN 13286-41** : « Mélanges traités et mélanges non traités aux liants hydrauliques - Partie 41 : méthode d'essai pour la détermination de la résistance à la compression des mélanges traités aux liants hydrauliques ».
- **NF EN 13286-42** : « Mélanges traités et mélanges non traités aux liants hydrauliques - Partie 42 : méthode d'essai pour la détermination de la résistance à traction indirecte des mélanges traités aux liants hydrauliques ».
- **NF EN 13286-43** : « Mélanges traités et mélanges non traités aux liants hydrauliques - Partie 43 : méthode d'essai pour la détermination du module d'élasticité des mélanges traités aux liants hydrauliques ».
- **NF EN 13286-45** : « Mélanges traités aux liants hydrauliques et mélanges non traités - Partie 45: Méthode d'essai pour la détermination du délai de maniabilité des mélanges traités aux liants hydrauliques ».
- **NF EN 13286-47** : « Mélanges traités aux liants hydrauliques et mélanges non traités - Partie 47 : Méthodes d'essai pour la détermination de l'indice portant californien (CBR), de l'indice de portance immédiate (IPI) et du gonflement ».
- **NF EN 13286-49** : « Mélanges traités aux liants hydrauliques et mélanges non traités - Partie 49 : Essai de gonflement accéléré pour les sols traités à la chaux et/ou aux liants hydrauliques ».

Les normes d'essais de contrôle sur chantier

Les ouvrages réalisés avec les techniques de traitement des sols et de retraitement des anciennes chaussées, doivent être contrôlés en se référant aux normes :

- **NF P 94 063** : « Sols - Reconnaissance et essais - Contrôle de la qualité de compactage - Méthode au pénétromètre dynamique à énergie constante. Principe et méthode d'étalonnage des pénétrodensitographes - Exploitation des résultats - Interprétation ».
- **NF P 94 105** : « Sols - Reconnaissance et essais - Contrôle de la qualité de compactage - Méthode au pénétromètre dynamique à énergie variable. Principe et méthode d'étalonnage du pénétromètre - Exploitation des résultats - Interprétation ».
- **NF P 94 113** : « Sols : reconnaissance et essais - Essai de pénétration statique ».
- **NF P 94 114** : « Géotechnique - Sols : reconnaissance et essais - Essai de pénétration dynamique type A ».
- **NF P 94 115** : « Géotechnique - Sols : reconnaissance et essais - Sondage au pénétromètre dynamique type B ».
- **NF P 94 117-1** : « Sols : reconnaissance et essais - Portance des plates-formes - Partie 1 : module sous chargement statique à la plaque (EV2) ».
- **NF P 94 117-2** : « Sols : reconnaissance et essais - Portance des plates-formes - Partie 2 : module sous chargement dynamique ».
- **NF P 94 117-3** : « Sols : reconnaissance et essais - Portance des plates-formes - Partie 3 : coefficient de réaction de WESTERGAARD sous chargement statique d'une plaque ».
- **NF P 98 200-1** : « Essais relatifs aux chaussées - Mesure de la déflexion engendrée par une charge roulante - Partie 1 : définitions, moyens de mesure, valeurs caractéristiques ».
- La série des normes **NF P 98 200-2** à **NF P 98 200-7** : Essais relatifs aux chaussées - Mesure de la déflexion ».
- **NF P 98 218-2** : « Essais relatifs aux chaussées - Essais liés à l'uni - Partie 2 : Mesure avec la règle roulante de trois mètres ».
- **NF P 98 218-3** : « Essais relatifs aux chaussées - Essais liés à l'uni - Partie 3 : détermination de quantificateurs d'uni longitudinal à partir de relevés profilométriques ».

Les normes relatives aux matériels

La fabrication des mélanges et leur mise en œuvre doivent être effectuées conformément aux spécifications des normes suivantes :

- La série des normes **NF P 98 701** à **NF P 98 772**.
- **NF P 98 115** : « Assises de chaussées - Exécution des corps de chaussées - Constituants - Composition des mélanges et formulation - Exécution et contrôle ».
- **NF P 98 732-1** : « Matériels de construction et d'entretien des routes - Fabrication des mélanges - Partie 1 : Centrale de malaxage pour matériaux traités hydrauliques ou non traités ».



CHAPITRE 3

VALORISATION DES MATÉRIAUX EN PLACE LE TRAITEMENT DES SOLS : PRINCIPES GÉNÉRAUX

≡ PRÉSENTATION	28
≡ CONSTITUANTS	28
≡ AMÉLIORATION	29
≡ STABILISATION	30
≡ PÉRENNITÉ DU TRAITEMENT	33
≡ BIBLIOGRAPHIE	33



Définition

Modification d'un sol :

- soit «naturelle»
- soit par ajout d'un «élément»

Objectifs

Accroissement des caractéristiques géotechniques :

- soit amélioration (accroissement temporaire),
- soit stabilisation (accroissement pérenne).

Intérêt

Réutilisation de sols naturellement «impropres».

Avantages

Utilisation de matériaux du site naturellement impropres

- Préservation des matériaux nobles (carrières)
- Diminution des zones de dépôts
- Suppression de la circulation de poids lourds sur le domaine public :
 - > Absence de nuisances (bruit – poussières) et de risques d'accidents
 - > Préservation des voiries
- Bilans écologique et économique favorables (dans la plupart des cas)

Limite

Mise en œuvre «technique» (compétence) – zones à traiter (surface minimum)

Application

Quasiment tous les chantiers, quelque soit leur importance. Pour les «petits» chantiers (volume, coût, délais de préparation et de réalisation), il existe toujours des solutions adaptées (études, matériels...).

Constituants

- Eau conformément à la norme NF P 98-100
- Sols
- Produits de traitement

Sols

- Définition :
 - > Matériau naturel issu de l'altération de roches mères,
 - > identifié et classé selon la norme NF P 11-300
- Principaux paramètres d'identification vis à vis du traitement :
 - > Granularité : D mm
 - > Argilosité : VBS - IP
 - > Etat hydrique : teneur en eau
 - > Teneurs en éléments chimiques : matières organiques – sulfates – nitrates...
 - > Caractéristiques physiques : dureté - abrasivité

Produits de traitement

	CIMENT	LIANTS HYDRAULIQUES ROUTIER
NORME	NF EN 197-1	NF EN 13282-1 et NF EN 13282-2
DÉNOMINATION	CEM	HRB
TYPE	I à V (Portland pur ... composé)	
CLASSES RC	32,5 – 42,5 – 52,5 MPa (28 jours)	12,5 – 22,5 – 32,5 MPa (28 jours pour les liants de la partie 1 et 56 jours pour les liants de la partie 2)
DÉLAI DE PRISE	R (rapide) – N (normale) – L (lente)	«normal» (≥ 150 mn) «rapide» (< 150 mn ou 90 mn (si E-RS))
DÉLAI DE MANIABILITÉ (à 20°)	Environ 2 à 3h	Environ 4 h à 6 h
CONSTITUANTS PRINCIPAUX	- Clinker (65 à 100 %) pour CEM I & II - Clinker (5 à 65 %) pour CEM III & V	Laitiers HF – clinker - chaux
	Calcaire – laitiers HF – CV – pouzzolane – schistes calcinés ...	Calcaire – laitiers LD – CV – pouzzolane – schistes calcinés ...

CHAUX - NF EN 459	CHAUX VIVE	CHAUX ÉTEINTE
TENEUR EN CHAUX LIBRE	> 80%	> 50%
FINESSE (passant à 0,08 mm)	> 50%	> 90%
RÉACTIVITÉ	T° > 60° en 25 mn	

AMÉLIORATION

Objectifs

- **But** : accroissement, MÊME TEMPORAIRE, des caractéristiques géotechniques
- **Réutilisation des sols «impropres» trop humides**
> diminution de la teneur en eau naturelle
> amélioration de la portance (traficabilité, compactage)
- **Performances recherchées** :
> état hydrique « moyen »
> portance EV2 au moins égal à 20 à 30 MPa (IPI > 5 à 8)

Types de traitement

- **Traitement naturel**
Abaissement de la teneur en eau par :
 - > **Aération** : cette technique nécessite :
 - des délais importants,
 - une météo favorable,
 - une énergie de "brassage" importante,
 - un phasage des travaux.
 - > **Essorage par drainage et/ou mise en dépôt provisoire**
Cette technique s'adresse essentiellement à des sols relativement perméables.
 - > **Mélange avec une matière sèche** (sable, cendres volantes,...)
- **Traitement par ajout de liant**
 - > **Liant hydraulique routier « prise rapide »** :
 - action : acquisition de la prise – réaction en quelques heures (2 à 3 h)
 - dosage minimum moyen : 2 à 3 %
 - malaxage : pulvi-mixer
 - > **Chaux vive** :
 - action : abaissement de la teneur en eau – réaction immédiate
 - dosage minimum moyen : 1 à 2 %
 - malaxage : charrue (ou pulvi-mixer)

But : accroissement pérenne des caractéristiques géotechniques et mécaniques.

Destinations principales

Essentiellement les ouvrages en terre « techniques » :

- **Remblais techniques**
 - > arase « AR2 »,
 - > Bloc Technique d'ouvrages d'art ou d'ouvrages hydrauliques,
 - > Remblais de Zone Inondable ou de Zone Humide,
 - > talus raidis...
- **Couches de forme**
- **Assises de chaussées**

Intérêts par rapport aux matériaux granulaires

- **Avantages**
 - > Utilisation de sols naturellement impropres,
 - > Réduction d'épaisseur (à performance équivalente),
 - > Possibilité d'obtenir des performances mécaniques plus élevées (PF4).
- **Limites**
 - > Mise en œuvre plus « délicate » (=> compétence nécessaire)
 - > Contraintes de mise en œuvre :
 - plus grande dépendance vis-à-vis des conditions météorologiques,
 - nécessité de respecter le délai de maniabilité du mélange.
 - > Délais à respecter pour avoir une résistance suffisante avant de pouvoir :
 - remettre en circulation,
 - bénéficier de l'insensibilité à l'eau et de la non-géllivité.

Matériaux

- Remblais techniques et couche de forme
Sols conformes à NF P 11-300
- Assises de chaussées

TYPES DE SOLS (APRÈS ÉLABORATION ÉVENTUELLE)		ARGILOSITÉ	CRITÈRES LIMITATIFS	
			GRANULARITÉ (MM)	
			D max*	D **
SOLS FINS	A1 – A2	VBS < 5 ou Ip < 20	≤ 31,5	≤ 20
SOLS SABLEUX	B5 – B6	VBS < 2,5	≤ 8	≤ 6,3
	B2	0,2 < VBS < 1		
SOLS GRAVLEUX	B5 – B6	VBS < 2,5	≤ 31,5	≤ 20
	B3 - B4	0,1 < VBS < 1		

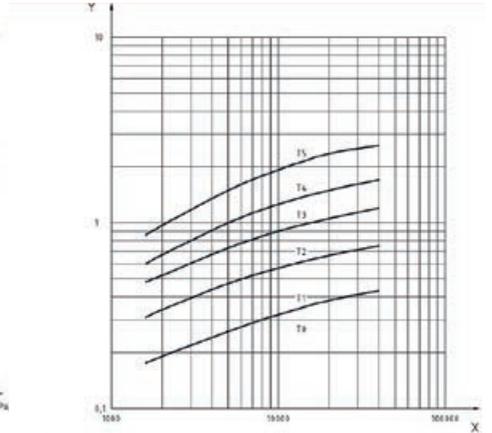
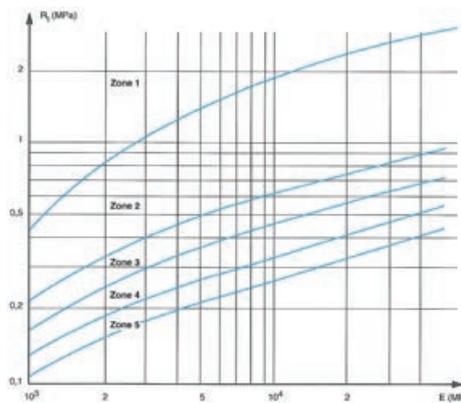
Performances à atteindre

- **Remblais techniques**
 - > Performances requises :
 - pérennité = insensibilité à l'eau : CBR ≥ IPI
 - portance EV2 ≥ 50 MPa soit CBR ≥ 20 à 25
 - amélioration de la cohésion (talus raidis)
 - > Liants :
 - Chaux : 1 à 2% pour les matériaux à tendance « argileuse » (VBS > à environ 1)
 - LHR : 3 à 4 % pour des matériaux à tendance « sableuse » (VBS < à environ 1)
- **Couches de forme et assises de chaussées**
 - > Circulation possible : délai pour avoir : Rc > 1 MPa (1,5 à 2 pour des trafics lourds)
 - > Insensibilité à l'eau :
 - Rc immersion / Rc 60 > 0,6 (0,7 pour assises de chaussées) (VBS > 0.5) ou 0,8 (VBS < 0.5)
 - > mélange non géllif : délai pour avoir : RtB > 0,25 MPa.
 - > caractéristiques mécaniques : « Rt / E » à 90 jours

- > pour assises de chaussées : IPI > 20 (A1,A2) – 30 (B sableux) – 50 (B graveleux)
- > liants :
 - chaux (pré-traitement à 1 à 2%) + LHR (4 à 6%) pour les matériaux à tendance « argileuse » (VBS > à environ 1)
 - LHR : 4 à 6 % pour des matériaux à tendance « sableuse » (VBS < à environ 1)

Classification mécanique « couche de forme »

CLASSE MÉCANIQUE	TRAITEMENT EN CENTRALE	TRAITEMENT EN PLACE
1	Zone 1	
2	Zone 2	Zone 1
3	Zone 3	Zone 2
4	Zone 4	Zone 3
5	Zone 5	Zone 4



Legende
 Y : résistance à la traction directe R_t , en MPa
 X : module d'élasticité E, en MPa

Études préalables - faisabilité

- Homogénéité du gisement des matériaux
Caractérisation par l'homogénéité des valeurs d'identification (VBS, OPN ou OPM.)
- Essai d'aptitude au traitement (NF P 94-100)
> objectif : détermine l'aptitude d'un sol à « réagir » positivement au traitement
> intérêt : réponse rapide (2 semaines)
> limite : il ne peut pas servir à dimensionner un ouvrage.

ESSAI « ACCÉLÉRÉ » : 7 JOURS À 40°	APTITUDE AU TRAITEMENT	PARAMÈTRES À CONSIDÉRER	
		GONFLEMENT VOLUMIQUE Gv (%)	RÉSISTANCE EN COMPRESSION DIAMÉTRALE RtB (MPa)
TRAITEMENT AVEC LHR OU CIMENT	APTE	$Gv \leq 5$	$RtB \geq 0,20$
	DOUTEUX	$5 < Gv \leq 10$	$0,10 \leq RtB < 0,20$
	INAPTE	$Gv > 10$	$< 0,10$

Étude de formulation

- Couche de forme « grands chantiers » et assises de chaussées « > t3 »
(étude niveau 2 du GTS avec variations de paramètres)
- Exemple de couche de forme : sable limoneux « B5 »
(D = 20 mm - VBS = 0,48 – OPN = 2,07 à 10,7 %)

COMPACTITÉ	98 % OPN				DÉLAIS CIRCULATION	96 % OPN			ZONE Rt / E À 90 JOURS
TENEUR EN EAU	W % OPN					W % OPN			
RÉSISTANCE	Rc (Mpa)					RtB / E (Mpa)			
DATE ESSAIS	27/07	17/08	18/09			17/08	18/09	18/10	
DÉLAIS (JOURS)	7	28	60	60 (IMMERSION)	JOURS	28	60	90	
3% LHR	0,72	1,10	1,19	1,05 / 88%	> 23	0,16 / 3697	0,27 / 5112	0,28 / 5301	5 / HZ
4% LHR	1,18		1,70	1,41 / 83%	> 6	0,25 / 4611		0,32 / 6147	5
5% LHR		1,65			> 6		0,38 / 8168	0,40 / 8505	5 (4)
6% LHR	1,46				> 5	0,34 / 8185		0,42 / 9017	4 (5)
1% CaO + 5% LHR	1,22				> 7			0,35 / 6312	5 (4)

(Rt = 0,8 x RtB)

Etudes « petits chantiers »

- Couche de forme
- GTS

CLASSES DE SOLS	DOSAGES PRÉCONISÉS POUR UNE COUCHE DE FORME PF2
(C) - A1- B5	1 % CaO + 7 % LHR
(C) - A2 - B6	1.5 % CaO + 7 % LHR
(C) - A3	2 % CaO + 7 % LHR ou 6 % CaO
(C) - B1 - B2 et D1	6 % LHR
(C) - B3 - B4 et D2 - D3	5 % LHR
Autres matériaux	Étude nécessaire

- Détermination du dosage par « expérience » (géotechnicien connaissant le traitement) :
 - > utilisation de formulations connues sur des matériaux identiques
 - > interprétation des résultats d'une étude « court terme » : aptitude ou Rc à 7 j et RtB / E à 28 j
 - > se limiter à des formulations « basiques » (PF2)
- Assises de chaussées (< t3 et mélange éprouvé)
Étude réduite (1 formulation) : voir Guide « Traitement des sols à la chaux et / ou aux liants hydrauliques - Application à la réalisation des assises de chaussées »

Dimensionnement de la couche de forme

CLASSE DE L'ARASE		AR 1			AR 2	
		ÉPAISSEUR DE LA COUCHE DE FORME				
CLASSE MÉCANIQUE DE LA COUCHE DE FORME TRAITÉE	3		30 cm	40 cm	25 cm	30 cm
	4	30 cm	35 cm	45 cm*	30 cm	35 cm
	5	35 cm	50 cm*	55 cm*	35 cm	45 cm*
CLASSE DE PLATE-FORME OBTENUE		PF 2	PF 3	PF 4	PF 3	PF 4

* Traitement en 2 couches

Dimensionnement des assises de chaussées

- Trafic :
 - > Couches de fondations : \leq TC5 (T1)
 - > Couches de base : \leq TC3 (T3)
- Dimensionnement :
 - > méthode : « Guide technique SETRA / LCPC 1994 / Alizé » reprise dans le Guide « Traitement des sols à la chaux et / ou aux liants hydrauliques - Application à la réalisation des assises de chaussées » et dans la future NF P 98-086
 - > paramètres :
 - trafic TC – classe mécanique T – qualité du traitement AC (abattement sur Rt et E)
 - paramètres mécaniques de calcul : Guide « Traitement des sols à la chaux et / ou aux liants hydrauliques - Application à la réalisation des assises de chaussées » et dans la future NF P 98-086
 - > Structures « type » : Guide « Traitement des sols à la chaux et / ou aux liants hydrauliques - Application à la réalisation des assises de chaussées »

≡ PÉRENNITÉ DU TRAITEMENT

Cas général

- Pas de problème de vieillissement constaté (recul de plus de 30 ans)
- Les caractéristiques mécaniques continuent de croître

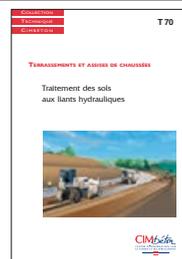
Problèmes de prise rencontrés (chantiers GUINTOLI)

- Ils sont rares et se traduisent, au niveau de l'étude de laboratoire, quelque soit le LHR et le dosage, par :
 - > une faible résistance initiale
 - > une stagnation des résistances dans le temps
- Ils concernent des natures de matériaux assez précises :
 - > Matériaux riches en micas,
 - Certaines arènes granitiques (MASSIF CENTRAL)
 - Certains schistes sédimentaires altérés (RENNES / ANGERS)
 - > Matériaux riches en sulfates (gypse) : marnes du Keuper (METZ / THIONVILLE).

≡ BIBLIOGRAPHIE



Guide Technique
Réalisation des remblais
et des couches de forme
Fascicule I et Fascicule II
SETRA / LCPC, 1992
(réédité en 2000).



T 70 • Terrassements
et assises de chaussées.
Traitement des sols
aux liants hydrauliques.



Guide Technique
Traitement des sols à la chaux
et/ou aux liants hydrauliques
Application en remblais
et couches de forme
SETRA / LCPC, 2000.



Guide Technique
Traitement des sols à la chaux
et/ou aux liants hydrauliques
Application en assises
de chaussées
SETRA / LCPC, 2007.

CHAPITRE 4

VALORISATION DES MATÉRIAUX EN PLACE LE TRAITEMENT DES SOLS : RÉALISATION ET CONTRÔLES

≡ MATÉRIELS DE TRAITEMENT	36
≡ RÉALISATION DU TRAITEMENT EN PLACE	37
≡ CONTRÔLES SUR CHANTIER	38
≡ MATÉRIELS DE CONTRÔLE	39
≡ BIBLIOGRAPHIE	39



Matériels de préparation

Cas de matériaux « grossiers » avec un « D max » > 100 à 150 mm :

- élimination par tri (manuel ou pelle mécanique) ou par criblage
- réduction par concassage :
- en place
- installation mobile



Épandeur de liant

- **Système de dosage :**
 - > aux « sacs »
 - > non asservi (dosage volumétrique)
 - > asservi (dosage volumétrique ajusté par dispositif pondéral) et avec largeur d'épandage réglable.
- **Précision du dosage :**
 - > coefficient de variation : $Cv = \text{écart-type} / \text{moyenne}$
 - > exactitude : écart entre la valeur moyenne épandue et la valeur visée



VALEURS INDICATIVES	Cv	EXACTITUDE
Amélioration	< 20%	
Stabilisation (couche de forme)	< 10%	< 5%

Malaxeurs

VALEURS INDICATIVES	CHARRUE		PULVI-MIXER (ROTOR À ARBRE HORIZONTAL)
	À DISQUES	À SOCS	
CARACTÉRISTIQUES	Faible épaisseur traitée	Forte épaisseur traitée	Finesse de la mouture
ÉPAISSEUR TRAITÉE	0,15 à 0,20 m	0,30 à 0,50 m	0,35 à 0,45 m
LIMITES	D < 250 à 350 mm		D < 100 à 120 mm
TRAITEMENT	Chaux		LHR ou Chaux/LHR
DESTINATIONS	Remblais ordinaires et pré-traitement à la chaux		Remblais techniques - couche de forme - chaussées



Arroseuse

- "Queue de carpe" : non asservie
- A rampe : asservie ou non
- Enfouisseuse
- Injection d'eau dans la cloche du malaxeur



≡ RÉALISATION DU TRAITEMENT EN PLACE

Zone de traitement

	À L'EXTRACTION	SUR LE LIEU D'EMPLOI
APPROVISIONNEMENT	Matériau traité	Matériau non traité
AVANTAGES	<ul style="list-style-type: none"> - épaisseur traitée uniquement fonction de la puissance du malaxeur. - meilleure maîtrise de l'homogénéité du traitement sur la totalité de l'épaisseur de la couche à traiter. 	<ul style="list-style-type: none"> - moins d'opérations pendant le délai de maniabilité « traitement-compactage ».
INCONVÉNIENTS	<ul style="list-style-type: none"> - risque de chargement de matériau non traité (ou perte de matériau traité lors du chargement) - nombreuses opérations pendant le délai de maniabilité : « traitement-charge-transport-régala-compactage ». 	<ul style="list-style-type: none"> - nécessité de pré-régler et pré-compacter de la couche de forme avant traitement. - risque de sous dosage en fond de couche

Épandage

- Quantité à épandre :

$$Q(\text{kg/m}^2) = \text{épaisseur (m)} \times \text{masse volumique sèche (t/m}^3) \times \frac{1000 \times \text{dosage (\%)}}{100 - \text{dosage (\%)}}$$

- Délai de mise en œuvre :
 - > Eau / traitement : variable suivant quantité et nature du matériau : quelques minutes à plusieurs heures ou jours.
 - > Pré-traitement CaO / traitement LHR : 1 à 2 h minimum.
 - > Épandage LHR / malaxage : immédiat.

Malaxage

- Epaisseur traitée :
 - > ≤ 0,40 m en 1 couche
 - > au-delà : 2 ou plusieurs couches
- Qualité du malaxage :
 - > Homogénéité : couleur
 - > Finesse de la mouture (fraction fine argilo-limoneuse) :
 - Pour une amélioration : D mm ≤ 80 à 100 mm
 - Pour une stabilisation : D mm ≤ 20 à 40 mm

Compactage

- Caractéristiques :
 - > Couches de forme α_s

- C% = 98,5 **OPN** (moyenne)
- C% = 96% **OPN** (fond de couche)
- > Assise de chaussées **Q₂**
 - C% = 97 **OPM** (moyenne)
 - C% = 95% **OPM** (fond de couche)
- **Il doit être terminé avant la fin du délai de maniabilité du liant.**

Réglage

- Il doit se faire par enlèvement de matériau :
 - > Niveleuse : nivelette - guidage sur fil - laser - GPS
 - > Raboteuse : guidage sur fil - laser - GPS
- Tolérances altimétriques « courantes » :
 - > Couche de forme : +/- 3 cm
 - > Assise de chaussées : +/- 3 cm (fondation), +/- 2 cm (base).



Protection

- **Objectif** : éviter :
 - > la déshydratation de surface avant la prise .
 - > la fissuration (couche de forme traitée au LH) :
 - elle n'est, en général, pas considérée comme préjudiciable.
 - une solution « anti-remontée de fissures » est à envisager seulement si l'épaisseur de la chaussée est < 18 cm (Manuel EGIS)
- **Produit de cure** :
 - > émulsion à 60 ou 65 % de bitume,
 - > eau

CONTRÔLES SUR CHANTIER

Contrôles durant le traitement

- **Teneurs en eau** : gammadensimètre – poêle
 - > Sur le matériau naturel,
 - > Après chaque arrosage / malaxage.
- **Liants** :
 - > Quantités épandues : bac (ou bâche) et bouclage journalier,
 - > Réactivité de la chaux,
 - > Auto-contrôle du fabricant - Prélèvements conservatoires.
- **Suivi du malaxage** :
 - > Epaisseur,
 - > Homogénéité.

Contrôles après le traitement

- **Compactage** :
 - > Q / S
 - > Densité et teneur en eau en place : gammadensimètre
- **Réception** :
 - > Topographique : altimétrie - largeur

- > Uni (APL) sur les assises de chaussées
- > Géotechnique : déflexions

TRAITEMENT	DÉFLEXIONS MAXIMALES (sous essieu de 13 tonnes)	
	CHAUX	LHR (avec ou sans chaux)
PF2	120 / 100 mm	80 / 100 mm
PF3	80 / 100 mm	60 / 100 mm
PF4	-	50 / 100 mm

MATÉRIELS DE CONTRÔLE



Essai à la plaque



Potancemètre en continu



Dynaplaque II



Déflectographe « LACROIX »



Gammadensimètre

BIBLIOGRAPHIE



Guide Technique
Réalisations des remblais
et des couches de forme
Fascicule I et Fascicule II
SETRA / LCPC, 1992
(réédité en 2000).



Guide Technique
Retraitement en place
des anciennes chaussées
SETRA / LCPC, 2003.



Guide Technique
Traitement des sols à la chaux
et/ou aux liants hydrauliques
Application en remblais
et couches de forme
SETRA / LCPC, 2000.



Guide Technique
Traitement des sols à la chaux
et/ou aux liants hydrauliques
Application en assises
de chaussées
SETRA / LCPC, 2007.



CHAPITRE 5

RETRAITEMENT DES CHAUSSÉES EN PLACE À FROID AUX LIANTS HYDRAULIQUES

≡ CONTEXTE	42
≡ OBJECTIFS	43
≡ PROCÉDÉ	44
≡ CRITÈRES DE PERFORMANCES DES MATÉRIELS DE RETRAITEMENT	44
≡ ÉTUDES TECHNIQUES	46
≡ DIMENSIONNEMENT	48
≡ EXÉCUTION	50
≡ AVANTAGES DE LA TECHNIQUE DE RETRAITEMENT	52
≡ BIBLIOGRAPHIE	53



La problématique

- Entretien et maintien de l'intégrité des chaussées : les chaussées vieillissent et s'usent sous l'effet du trafic et des conditions climatiques.
Trafic + Âge + Conditions climatiques → Dégradations
- Les dégradations sont de deux types : superficielles ou structurelles
 - > Dégradations superficielles → Concernent la couche de roulement.
 - > Dégradations structurelles → Concernent la structure de la chaussée : couche de roulement, couche de base, couche de fondation et éventuellement le support de chaussée.

Dégradations, causes, défauts et techniques d'entretien

DÉGRADATIONS	CAUSES	DÉFAUTS	TECHNIQUES D'ENTRETIEN
SUPERFICIELLES	<ul style="list-style-type: none"> > Usure de la couche de roulement sous l'effet du trafic. > Fatigue des couches de surface. 	<ul style="list-style-type: none"> > Fissurations longitudinales et transversales. > Arrachements, plumage. > Orniérage à petit rayon. 	<ul style="list-style-type: none"> > Enduit superficiel. > Réfection de la couche de roulement en enrobés après fraisage. > BCMC.
STRUCTURELLES	<ul style="list-style-type: none"> > Fatigue des couches d'assise sous l'effet du trafic. > Évolution du trafic lourd. > Effet du gel/dégel. > Drainage insuffisant. 	<ul style="list-style-type: none"> > Fissurations longitudinales dans les traces de roues. > Fissurations transversales très dégradées. > Affaissements. > Faiénçage, nids de poules. > Orniérage grand rayon. 	<ul style="list-style-type: none"> > Reconstruction de chaussée après décaissement. > Renforcement épais en GB ou BC avec relèvement des seuils. > Retraitement en place aux LH avec maintien des seuils.

Entretien structurel d'une chaussée - deux solutions techniques

- Reconstruction ou renforcement épais :
 - > Reconstruction = décaissement de la chaussée existante sur une épaisseur importante et reconstruction d'une chaussée neuve.
 - > Renforcement épais = fraisage des couches de surface dégradées et rechargement par des couches d'assise neuves.
 Techniques lourdes (durée de chantier importante), coûteuses, néfastes pour la sécurité des usagers et des riverains (risque d'accident), sources de nuisances pour les riverains (bruit, vibrations, poussières...) et à forts impacts sur l'environnement.
 En outre, pour le renforcement, l'épaisseur peut poser des problèmes de hauteur de seuil ou de tirant d'air pour les ouvrages.
- **Retraitement en place aux Liants Hydrauliques :**
 Solution technique reconnue comme étant la plus rationnelle car la plus économique et la mieux adaptée à l'environnement.

Structures du réseau routier français

- Nature des matériaux de couches de roulement :
 - > Matériaux bitumineux : 98,3%
 - > Béton de ciment : 1,7%
- Nature des matériaux pour couches d'assise :
 - > GNT : 60%,
 - > Matériaux bitumineux : 25%
 - > Matériaux traités aux liants hydrauliques : 15%
- **Structures favorables au retraitement en place aux Liants Hydrauliques.**

Domaines d'emploi du retraitement en place

Ensemble des routes quel que soit le trafic : Autoroutes, RN, RD, zones aéroportuaires, portuaires, industrielles, voiries communales et rurales.

Exemple : couche de fondation de la voie lente de l'autoroute A10 à Poitiers (depuis 1985).



Guide CFTR

"Retraitement en place à froid des anciennes chaussées"

- Rédaction :
 - > Comité Sectoriel « Méthodologie » du CFTR,
 - > Groupe de travail présidé par le LROP et constitué d'experts des LRPC, du SETRA, du LCPC, des entreprises routières et de CIMbéton.
- 4 Parties :
 - > Présentation du guide.
 - > Livret I – Liants hydrocarbonés.
 - > Livret II – Liants hydrauliques.
 - > Livret III – Liants composés.



OBJECTIFS

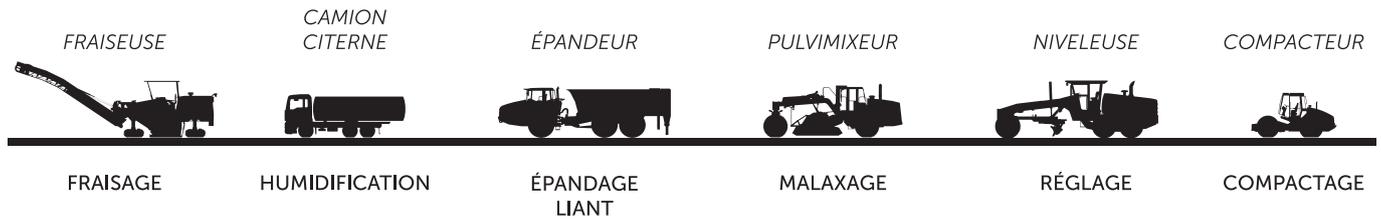


Patrimoniaux

- **Réhabilitation structurelle** par création d'une nouvelle assise de chaussée :
 - > Adaptation de la portance du corps de chaussée au trafic.
 - > Restauration de la pérennité de la chaussée pour une nouvelle durée de vie par le calcul d'une épaisseur de retraitement aux LH (classe IV au sens du guide CFTR/SETRA).
- **Requalification géométrique** de la chaussée :
 - > Reprise d'un profil en travers bombé.
 - > Calibrage ou élargissement possible de la chaussée.
 - > Reprise des dégradations de surface (faiénçage, affaissements de rives, déformations permanentes).

Environnementaux

- Démarche **volontariste** de protection de l'environnement et de maîtrise des ressources :
 - > **Économie en granulats d'apport** : chaussée = gisement potentiel de matériaux qui ont des caractéristiques mécaniques exploitables.
 - > **Économie de transport** et élimination des nuisances associées (bruit, poussières, vibrations, détérioration des voiries annexes, accidents).
 - > **Économie d'énergie**.
 - > **Engagement des syndicats routiers et terrassiers dans la démarche de protection de l'environnement dans la CEV**.
 - > **Économie de mise en décharge** : éviter la création de déblais de routes qui prennent le statut de déchets.



- Procédé destiné aux chaussées comprenant une couche supérieure hydrocarbonée de 2 à 10 cm d'épaisseur et une grave en partie inférieure (traitée ou non).
 - > Défonçage et humidification de la chaussée
 - > Epandage du liant hydraulique et dosage : 3 à 6 %, humidification éventuelle.
 - > Retraitement par fraisage des anciennes couches, correction granululaire éventuelle et malaxage, profondeur de retraitement comprise entre 20 et 40 cm.
 - > Pré-compaction, pré-fissuration (éventuelle), réglage et compactage définitif.
 - > Enduit de cure pré-gravillonné (éviter la dessiccation et pouvoir être circulable).
 - > Couche de roulement en fonction de la classe du trafic.

CRITÈRES DE PERFORMANCE DES MATÉRIELS DE RETRAITEMENT

Pourquoi des critères de performances ?

- L'objectif recherché est double :
 - > Optimiser le choix des matériels compte tenu de la qualité du matériau du site.
 - > Optimiser les contrôles a posteriori par l'adéquation entre choix du matériel et qualité des matériaux.
- Niveaux de qualité du matériel : la gamme de matériel de retraitement utilisé offre des performances variées : épandeur (asservi ou non), pulvimixeur (fonctions et niveaux de puissances différents), compacteurs (classes variées).
2 Niveaux de qualité de retraitement : R1 et R2.
- Niveaux de qualité des matériaux : le retraitement se fait en place avec des matériaux du site, donc de qualité variable.
2 Niveaux de qualités des matériaux : M1 et M2.

Critères de performances des matériels de retraitement

- Coefficient LTV de qualification des épandeurs :
 - > L : Homogénéité Longitudinale d'épandage du liant,
 - > T : Homogénéité Transversale d'épandage du liant,
 - > V : Possibilité de faire varier la largeur d'épandage.
- Coefficient HEPIL de qualification des matériels de retraitement (fragmentation et malaxage) :
 - > H : Homogénéisation du matériau avec le ou les liants,
 - > E : Maîtrise de l'épaisseur traitée,
 - > P : Puissance disponible pour fragmenter l'ancienne chaussée,
 - > I : Présence d'un dispositif d'Injection d'eau,
 - > L : Dosage de Liant sous forme liquide.
- 3 niveaux : Note 3, la meilleure et 1, la moins bonne.
- Analyse multicritère des coefficients HEPIL et LTV pour un niveau de retraitement.

Matériels nécessaires pour obtenir le niveau de qualité R1 de retraitement

		3	2	1
MALAXEUR	H		seulement si T=3 et V=3	
	E			
	P			
	I			
	L			
ÉPANDEUR	L			
	T			
	V		seulement si H=3	

Compactage : qualité q_1 si $t > T3$ ou q_2 si $t \leq T3$
 Emploi de compacteurs V5 ou V4 et P2
 (voir V3 suivant l'épaisseur compactée)

Accepté
 Accepté sous conditions
 Refusé

Matériels nécessaires pour obtenir le niveau de qualité R2 de retraitement

		3	2	1
MALAXEUR	H			
	E			
	P			
	I			
	L			
ÉPANDEUR	L			
	L			
	T			
	V		seulement si H=3	

Compactage : qualité q_2
 Emploi de compacteurs V3 ou V4 ou V5 et P2

Niveaux de qualité des matériaux en place

Deux niveaux de qualité des matériaux en place M1 et M2

- Un matériau M1 doit satisfaire aux deux conditions :
 - > Courbe granulométrique s'inscrivant dans le fuseau de la norme NF EN 13-285.
 - > Propreté des matériaux ($VBs \leq 0,8$).
- Un matériau M2 : Si une des 2 conditions ci-dessus est non satisfaite.

Exigences de qualité du retraitement

Niveaux de qualité de retraitement

- 2 niveaux de qualité de retraitement R1 (la meilleure) et R2
- Qualité R1 obligatoire pour couche de base et quand classe trafic > T3

CAS DE CHANTIER		QUALITÉ	
FONCTION DE LA COUCHE RETRAITÉE	CLASSE DE TRAFIC	DE RETRAITEMENT	DE COMPACTAGE
Liaison ou base	$T > T3$	R1	q_1
Liaison ou base	$T \leq T3$	R1	q_2 (admise)
		R2 (admise)	q_1
Fondation	Tous trafic	R1	q_2
		R2 (admise)	

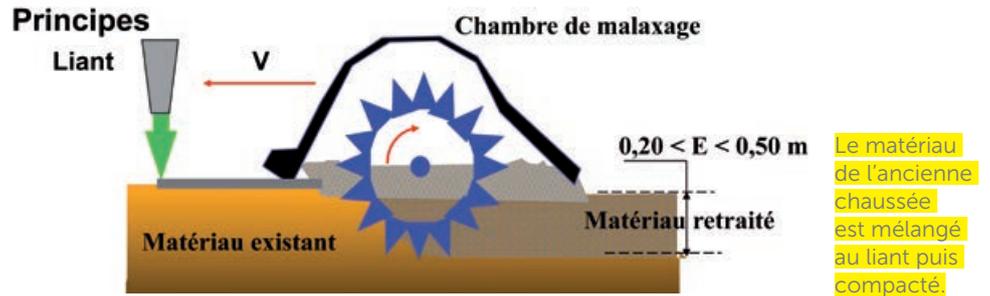
Pulvimixeurs

Comportant une fraise faisant office de malaxeur :

- > Malaxage uniquement vertical.
- > Exemple : RACO 350, CATERPILLAR SM-350, WR 2500 SK (HEPIL : 22333)



> Principe de fonctionnement :



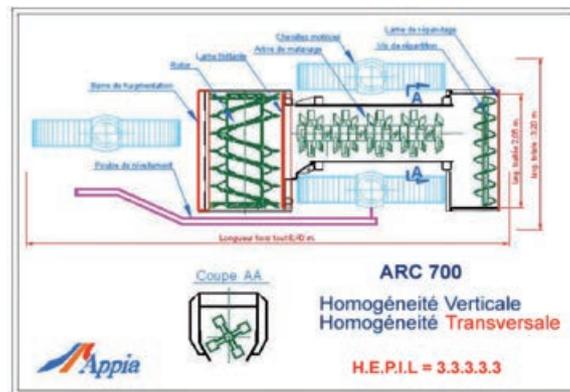
Ateliers de reconditionnement

Comportant une fraise et un malaxeur longitudinal séparés :

> Malaxage vertical et dans le profil en travers.

> Exemples : Arc 700, Arc 1000, (LTV : 332, HEPIL : 33333).

Wirtgen WR 4200 (HEPIL : 33333) en location.



ÉTUDES TECHNIQUES

Diagnostic de la chaussée existante (non spécifique à la technique de retraitement en place)

- État mécanique de la chaussée à établir en fonction :
 - > Des données existantes (archives).
 - > De relevés visuels (dégradations de la couche de roulement, état de l'assainissement...).
 - > De mesures de portance ou de déflexions.
 - > De sondages et/ou carottages (nature des matériaux, épaisseurs et collage des couches en place).
 - > Ou mieux ! des tranchées en travers.

Caractérisation des matériaux prélevés en place

Elle permet de déterminer le niveau de qualité du matériau en place M1 ou M2, et de vérifier l'aptitude du matériau au traitement.

- Nature des matériaux (GNT, GTLH, matériaux bitumineux).
- Granulométrie
- Propreté : VBS
- Teneur éventuelle en matières organiques (sulfates, sulfures, nitrates..) qui pourraient perturber la prise hydraulique (gonflements, absence de prise).

Faisabilité de la technique

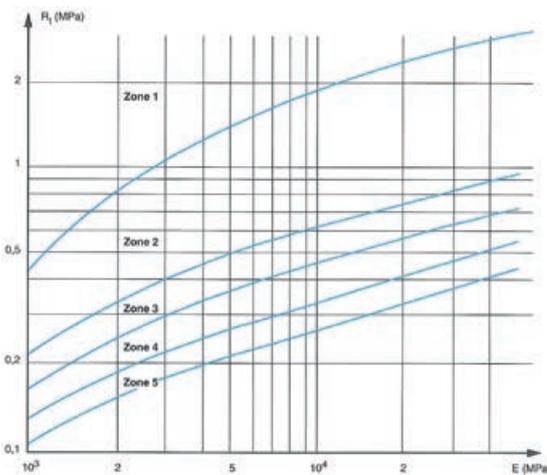
- Granularité des matériaux : D max = 63 mm (aucun élément supérieur à 80 mm, sinon écrêtage ou concassage).
- Propreté : $VB_5 \leq 0,8$ g (pré-traitement à la chaux si $VB_5 > 0,8$ g).
- Épaisseur de matériaux à retraiter suffisante (compatible avec le procédé et le dimensionnement), sinon apport de matériaux.

Étude de formulation : (systématique pour des trafics élevés > T₃)

- Analyse granulométrique et homogénéité des matériaux à retraiter.
- Choix du liant hydraulique et du dosage.
- Étude du délai de maniabilité.
- Étude des performances mécaniques (Rt et E, pris en compte à 360 jours) :
 - > Essai Brésilien pour des mélanges allant jusqu'à 20% de matériaux bitumineux (Rt = 0,8 Rtb).
 - > Essai de traction directe si plus de 20% de matériaux bitumineux.
 - > Extrapolation des résultats obtenus à 28 jours (avec ciment) et à 60 jours (avec LHR).

LIANT	ÂGE	R _t / R _{t,360}	E _t / E _{t,360}
Ciment	28 j	0,60	0,65
LHR	60 j	0,70	0,80

Classification des matériaux retraités



CLASSE MÉCANIQUE	TRAITEMENT EN CENTRALE	TRAITEMENT EN PLACE (*)
1	Zone 1	
2	Zone 2	Zone 1
3	Zone 3	Zone 2
4	Zone 4	Zone 3
5	Zone 5	Zone 4

(*) Ce déclassement ne s'applique qu'au matériel de qualité R2 (Avis des professionnels)

Études techniques

- Étude de formulation : **Pas obligatoire** pour des trafics faibles $\leq T_3$
- Les caractéristiques des matériaux retraités sont alors données par le tableau suivant :

CAS DE CHANTIER CARACTÉRISTIQUES OBTENUES APRÈS ABATTEMENT	QUALITÉ DE RETRAITEMENT R1		QUALITÉ DE RETRAITEMENT R2	
	MATÉRIAU M1	MATÉRIAU M2	MATÉRIAU M1	MATÉRIAU M2
MODULE E (MPa)	20 000	18 000	18 000	13 000
σ_6 (MPa) CONTRAINTE À 10 ⁶ CYCLES	0,70	0,55	0,55	0,35

- Un matériau M1 doit satisfaire aux deux conditions :
 - > Courbe granulométrique s'inscrivant dans le fuseau de la norme NF EN 13-285.
 - > Propreté des matériaux ($VB_5 \leq 0,8$).
 Si une des 2 conditions est non satisfaite : M2.

Méthode de dimensionnement

Elle est définie dans le guide technique «Conception et dimensionnement des structures de chaussées, SETRA/LCPC 1994».

Elle consiste à évaluer les paramètres suivants :

- Le trafic cumulé,
- La portance du sol support,
- Les caractéristiques des matériaux envisagés,
- Le dimensionnement proprement dit par le logiciel ALIZE III.
- Vérification au gel /dégel (éventuellement).

Méthode de dimensionnement appliquée à la technique de retraitement

- Le trafic cumulé :
 - > Il se détermine selon la méthode de calcul classique, défini dans le guide SETRA/LCPC 1994,
 - > La connaissance de ce trafic cumulé, nous permet de connaître la nature et les épaisseurs des couches de roulement conformément au tableau suivant :

CLASSE DE TRAFIC	COUCHE DE ROULEMENT
T ₄ et T ₅	Enduit superficiel et ECF
T ₃ et T ₂	4 à 6 cm de BBSG
T ₁	8 cm de BBSG (2 couches)

- La portance du sol support :
 - > Elle se détermine par la mesure du module EV2 sur la partie conservée de l'ancienne chaussée ou par une mesure de déflexion sur l'ancienne chaussée,
 - > La portance du sol support est appréciée par un retro calcul.
 - > Si le drainage est correct le niveau de portance est correct et l'arase insensible au gel dégel.
- Les caractéristiques des matériaux envisagés :
 - > Soit à partir des résultats de l'étude de formulation
 - > Soit en retenant, par défaut, les caractéristiques des matériaux retraités données par le tableau suivant :

CAS DE CHANTIER CARACTÉRISTIQUES OBTENUES APRÈS ABATTEMENT	QUALITÉ DE RETRAITEMENT R1		QUALITÉ DE RETRAITEMENT R2	
	MATÉRIAU M1	MATÉRIAU M2	MATÉRIAU M1	MATÉRIAU M2
MODULE E (MPa)	20 000	18 000	18 000	13 000
σ ₆ (MPa) CONTRAINTE À 10 ⁶ CYCLES	0,70	0,55	0,55	0,35

- Un matériau M1 doit satisfaire aux deux conditions :
 - > Courbe granulométrique s'inscrivant dans le fuseau de la norme NF EN 13-285.
 - > Propreté des matériaux (VBs ≤ 0,8).
 Si une des 2 conditions est non satisfaite : M2.

Détermination de l'épaisseur de la structure retraitée

Extrait du «Guide Technique Retraitement en place des anciennes chaussées – SETRA/LCPC – 2003 »

Fiche : R1 M1			
Hypothèses : E = 20000 ; $\sigma_6 = 0,7$; SN = 1 ; Sh = 3 ; -1/b = 16 ; Kc = 1,6 ; r = 12,5% durée de vie 20 ans ; accroissement trafic 2%			
PORTANCE SUPPORT MPa	50	80	120
TRAFIC EN NOMBRE DE PL PAR SENS			
Trafic cumulé 0,74 à 1,3.10 ⁶ (de 85 à 150 PL/j/sens avec CAM = 0,8)	 6 30	 6 29	 6 25
Trafic cumulé 0,43 à 0,74.10 ⁶ (de 50 à 85 PL/j/sens avec CAM = 0,7)	 6 30	 6 28	 6 24
Trafic cumulé 0,22 à 0,43.10 ⁶ (de 25 à 50 PL/j/sens avec CAM = 0,5)	 4 30	 4 28	 4 25
Trafic cumulé 0 à 0,22.10 ⁶ (jusqu'à 25 PL/j/sens avec CAM = 0,4)	 4 29	 4 27	 4 24

Fiche : R1 M2			
Hypothèses : E = 18000 ; $\sigma_6 = 0,55$; SN = 1,5 ; Sh = 3 ; -1/b = 16 ; Kc = 1,6 ; r = 12,5% durée de vie 20 ans ; accroissement trafic 2%			
PORTANCE SUPPORT MPa	50	80	120
TRAFIC EN NOMBRE DE PL PAR SENS			
Trafic cumulé 0,74 à 1,3.10 ⁶ (de 85 à 150 PL/j/sens avec CAM = 0,8)	 6 36	 6 35	 6 30
Trafic cumulé 0,43 à 0,74.10 ⁶ (de 50 à 85 PL/j/sens avec CAM = 0,7)	 6 36	 6 34	 6 30
Trafic cumulé 0,22 à 0,43.10 ⁶ (de 25 à 50 PL/j/sens avec CAM = 0,5)	 4 36	 4 34	 4 30
Trafic cumulé 0 à 0,22.10 ⁶ (jusqu'à 25 PL/j/sens avec CAM = 0,4)	 4 34	 4 33	 4 29

Fiche : R2 M1			
Hypothèses : E = 18000 ; $\sigma_6 = 0,55$; SN = 1,5 ; Sh = 5 ; -1/b = 16 ; Kc = 1,6 ; r = 12,5% durée de vie 20 ans ; accroissement trafic 2%			
PORTANCE SUPPORT MPa	50	80	120
TRAFIC EN NOMBRE DE PL PAR SENS			
Trafic cumulé 0,74 à 1,3.10 ⁶ (de 85 à 150 PL/j/sens avec CAM = 0,8)	 6 38	 6 36	 6 32
Trafic cumulé 0,43 à 0,74.10 ⁶ (de 50 à 85 PL/j/sens avec CAM = 0,7)	 6 37	 6 35	 6 32
Trafic cumulé 0,22 à 0,43.10 ⁶ (de 25 à 50 PL/j/sens avec CAM = 0,5)	 6 36	 6 34	 6 32
Trafic cumulé 0 à 0,22.10 ⁶ (jusqu'à 25 PL/j/sens avec CAM = 0,4)	 4 36	 4 34	 4 30

- L'exécution des travaux de retraitement des chaussées en place au ciment ou au LHR suit, en règle générale, le processus suivant :
 - > Défonçage de l'ancienne chaussée,
 - > Remise au profil,
 - > Correction granulaire éventuelle par apport de nouveaux matériaux ou par concassage ou par écrêtage ou par les trois solutions à la fois,
 - > Épandage du liant hydraulique,
 - > Humidification éventuelle,
 - > Malaxage,
 - > Pré-compactage : la bande retraitée est pré-compactée au 1/3 ou 2/3 de l'énergie totale de compactage
 - > Réglage, pré-fissuration éventuelle et compactage définitif,
 - > Réalisation de la protection ou de la couche de surface.

Scarification



Matériau existant



Épandage liant



Malaxage en place



Atelier de reconditionnement



Protection



Contrôles

- Contrôles de qualité :
 - Il est réalisé en deux étapes :
 - > Durant l'exécution,
 - > À la fin des travaux.
- Contrôles de qualité durant l'exécution :
 - > Qualité et quantité des matériaux importés sur le chantier (liant, correcteur granulaire, eau, additives, etc.),
 - > Teneur en eau
 - > Épandage du liant,
 - > Granularité du matériau retraité,
 - > Homogénéité du mélange,
 - > Compacité,
 - > Profondeur du retraitement.



- Contrôles de qualité après l'exécution :
 - > Épaisseur retraitée,
 - > Performances mécaniques du matériau retraité (éventuellement),
 - > Déflexion à 7 jours et à long terme,
 - > Uni de surface.
 - > Prévoir des purges.



Gestion des contraintes d'exécution : la réalité du terrain

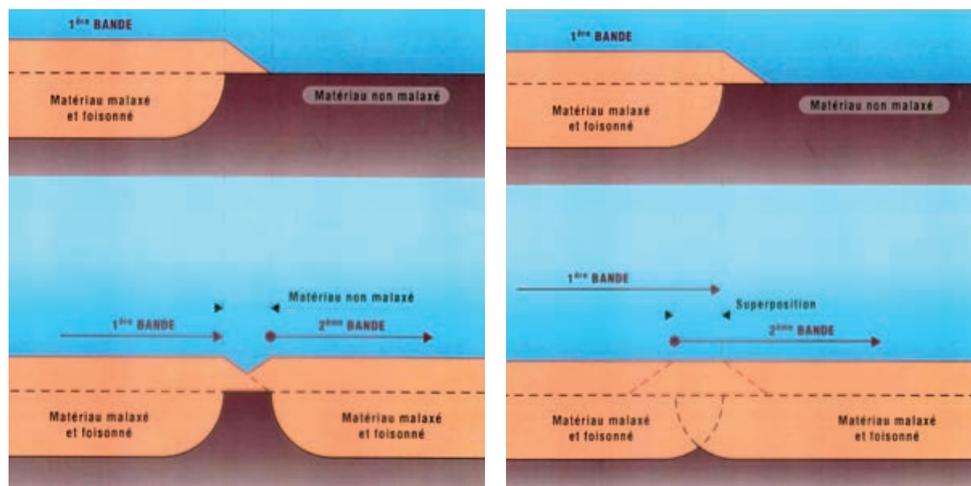
- Des chaussées à retraiter parfois hétérogènes :
 - > Plusieurs types de matériaux rencontrés.
 - Nature pétrographique, propreté...
 - Choix d'un liant adapté (ex : matériau crayeux = liant spécial craie)
 - > Beaucoup d'anciennes chaussées de type empièremement ... conduisant à $D > 80$ mm.
 - > Nécessité d'une préparation granulométrique des matériaux.



- > Nécessité de garantir une bonne teneur en eau car les corps de chaussées sont secs.
- Nécessité de concilier le délai de maniabilité et le délai de restitution de la chaussée au trafic lourd.
 - > Phases multiples
 - > Délai de maniabilité le plus long possible pour assurer l'ensemble des opérations de retraitement.
 - Liant hydraulique à prise lente ... mais pas trop.
 - > Phase de durcissement rapide pour autoriser une restitution de la chaussée au trafic.
- Mise en œuvre : après épandage du liant hydraulique (épandeur asservi, contrôle à la bêche).
 - > Régalage : effectué soit par une niveleuse, soit par une table de finisseur dans le cas d'une machine multifonction.
 - > Pré-compaction : dans un premier temps, la bande retraitée est précompactée au $1/3$ ou $2/3$ de l'énergie totale de compactage
 - > Pré-fissuration : souhaitable pour des trafics $\geq T_3$,
 - > Réglage à la niveleuse
 - > Compactage final et maintien de la teneur en eau
 - > Enduit de cure



- Recouvrement des bandes retraitées :
Dans le cas de retraitement par plusieurs bandes dans le profil en travers, on s'assure d'un recouvrement des bandes de l'ordre de 10 cm



- Gestion des émergences dans les travaux urbains :
 - > Solutions possibles de retraitement à proximité des obstacles (Bordures, regards...) :
 - Repérage des émergences,
 - Démontage,
 - Retraitement,
 - Remontage des émergences,
 - Matériaux rapportés.



- Gestion des émissions de poussières :
 - > Disposer d'un atelier d'arrosage performant
 - > Ne pas travailler par grand vent (> 30 km/h)
 - > Utiliser les liants hydrauliques à émission de poussières réduites
 - > Disposer d'un atelier avec incorporation des liants dans le recycleur



AVANTAGES DE LA TECHNIQUE DE RETRAITEMENT

Sur le plan environnemental

- Réduction des Gaz à Effet de Serre (GES)
- Économies d'énergie et de carburant
- Valorisation des matériaux et préservation des ressources non renouvelables
- Moindre gêne de l'utilisateur
 - > Réduction des nuisances liées aux approvisionnements du chantier
 - > Réduction des délais d'intervention
 - > Travaux pouvant être réalisés sous circulation

- > Accès riverains maintenus
- Sécurité accrue (pas de décaissement)

Sur le plan patrimonial

- Durée de vie analogue aux solutions traditionnelles de construction de chaussée
- Correction parfois possible de la tenue au gel / dégel,
- Conservation des seuils en traversée d'agglomération

Sur le plan environnemental et économique

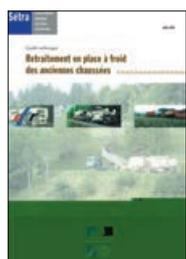
- Pas d'évacuation = pas de déchets = pas de frais de décharge. Principe de servitude
- Mais protection des exécutants !!!

Sur le plan économique

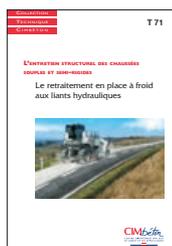
- Rapidité d'exécution / solution de reconstruction traditionnelle
 - > Rendement de 1 500 à 3 500 m²/jour
- Coûts : solution 10% à 30% plus économique qu'une solution traditionnelle
- Économies directes et indirectes (protection du réseau routier avoisinant)

BIBLIOGRAPHIE

DOCUMENTS CONSULTABLES ET TÉLÉCHARGEABLES SUR :
LHR.CIMBETON.NET



Guide Technique
Retraitement en place
des anciennes chaussées
SETRA/LCPC, 2003.



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.



CHAPITRE 6

RETRAITEMENT AUX LIANTS HYDRAULIQUES D'UNE CHAUSSÉE CONTENANT DES HAP

≡ LE CONTEXTE	56
≡ SOLUTION	56
≡ BIBLIOGRAPHIE	57





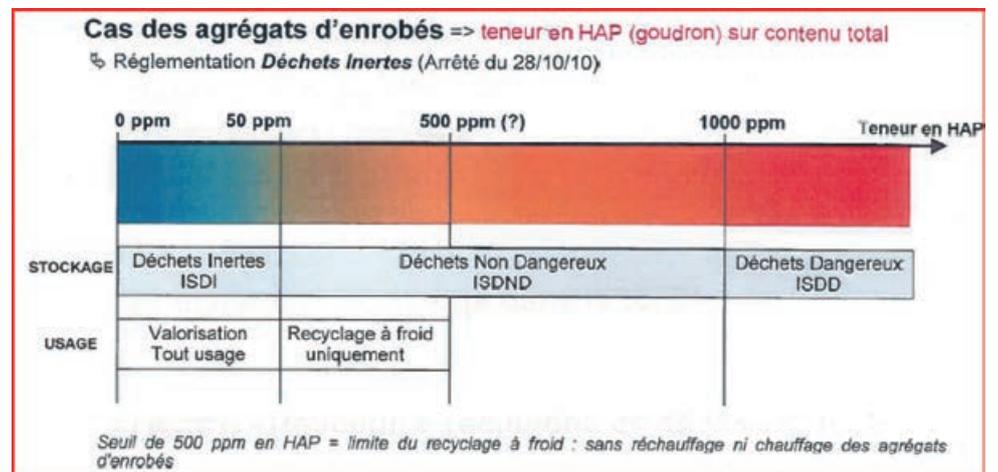
Une problématique nouvelle

Pollution des chaussées par des produits autrefois utilisés tels que le goudron contenant des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP).

En fonction de la teneur en HAP (1 ppm = 1 mg/kg), les matériaux de chaussées peuvent être classés en déchets inertes, en déchets non dangereux ou en déchets dangereux. Leur stockage ou leur usage est alors parfaitement réglementé. Trois types d'installation de stockage :

- ISDI = Installation de Stockage de Déchets Inertes (anciennement classe 3).
- ISDND = Installation de Stockage de Déchets Non Dangereux (anciennement classe 2).
- ISDD = Installation de Stockage de Déchets Dangereux (anciennement classe 1).

Règlementation : stockage et usage



Constat

- En France, il y a seulement 16 Installations ISDD.
- Coût de stockage
 - > Coût de stockage dans une installation ISDD ≈ 400 €/tonne.
 - Suspension de nombreux projets suite à diagnostic positif.
 - > Coût de stockage dans une installation ISDND ≈ 120 €/tonne.
 - > Coût de stockage dans une installation ISDI ≈ 50 €/tonne
- **Solution : le retraitement en place au Liant Hydraulique d'une chaussée polluée aux HAP avec un atelier adapté.**

SOLUTION

- Privilégier le réemploi par traitement in-situ des chaussées polluées aux HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques).
- Garantir la sécurité sanitaire et environnementale de l'opération.
- Offrir une solution alternative et moins coûteuse à l'enfouissement technique.
- RECYCLEAN®- Procédé EIFFAGE Route



Description du procédé

- Évolution des ateliers de retraitement en place de chaussées ARC 700 – 1000 et ARM 2500 en mettant au point un procédé de traitement sous protection humide (voile d'aspersion continu), baptisé RECYCLEAN®.
- Procédé testé en liaison avec le RST (réseau scientifique et technique) du MEDDE, en particulier le CEREMA / LR de ROUEN et la DREAL, séduits par l'initiative.



Réalisations

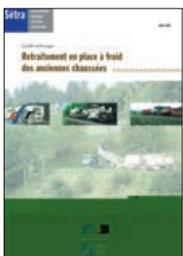
- Action CEREMA – LR de Rouen :
- Validation technique , mesures sanitaires d'émissivité, et mesures environnementales (risque de relargage) ont démontré l'efficacité du procédé et de la protection par voie humide mise en place pour les agents et riverains évoluant autour de l'atelier.
- 2012 : Voie d'accès Aéroport de Rouen Boos.
- 2013 : Quartier des Sapins – Agglomération de Rouen



Avantages / intérêts

- Technique permettant d'apporter une solution au maître d'ouvrage, tout en évitant des surcoûts parfois considérables pour la collectivité (impôts mis en décharge !).
- Gain économique et environnemental : économie matière par réemploi / technique à froid à haute valeur ajoutée.
- RECYCLEAN® : lauréat du concours CIRR 2015 / Vainqueur du trophée FNTP 2015 « matériels et procédés » / Finaliste Trophée Innovation EIFFAGE 2015

BIBLIOGRAPHIE



Guide Technique
Retraitement en place
des anciennes chaussées
SETRA/LCPC, 2003.



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.



CHAPITRE 7

RETRAITEMENT D'UNE CHAUSSÉE AU LIANT COMPOSÉ

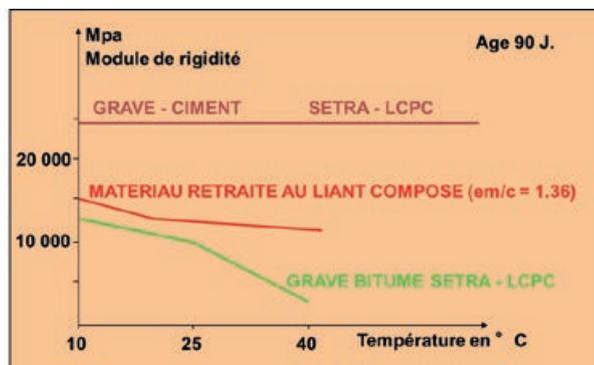
RETRAITEMENT D'UNE CHAUSSÉE AU LIANT COMPOSÉ	60
MATÉRIEL	61
AVANTAGES / INTÉRÊTS	61
EXEMPLE DE CHANTIER	62
CONCLUSION	62
BIBLIOGRAPHIE	62



RETRAITEMENT D'UNE CHAUSSÉE AU LIANT COMPOSÉ

Objectif

- Matériau à « plus faible module » (8 000 à 15 000 MPa).
- Matériau à capacité de déformation suffisante.



- Adaptation aux portances du sol, risques de fissuration nuls.

Définition



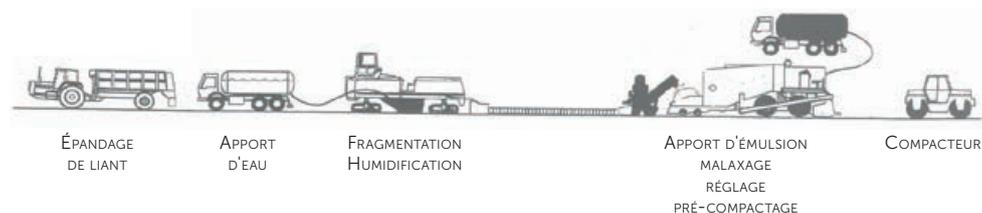
Domaine d'emploi

- Technique de classe V
- Renforcement structurel.
- Correction d'un défaut des couches de surface.
- Couche de liaison, base ou fondation.
- Epaisseur 10 à 15 cm jusqu'à 30 cm.
- Tous trafics.



Principe

- Qualité de retraitement R1
- Qualité de compactage q1



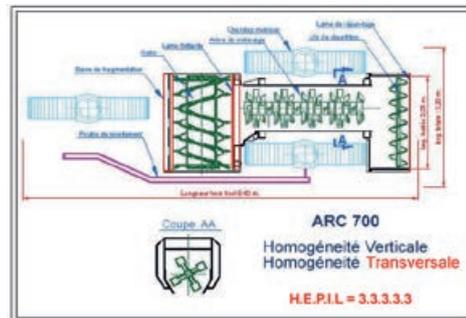
Pulvimixeur

- Engin comportant une fraise faisant office de malaxeur :
- Malaxage uniquement vertical.
 - Exemple : RACO 350, CATERPILLAR SM-350, WR 2500 SK (HEPIL : 22333).



Atelier de reconditionnement

- Engin comportant une fraise et un malaxeur longitudinal séparés :
- Malaxage vertical et dans le profil en travers.
 - Exemples : ARC 700 / ARC 1000, (LTV : 332, HEPIL : 33333).
 - Wirtgen WR 4200 (HEPIL : 33333) en location



AVANTAGES / INTÉRÊTS

- Rigidité comprise entre celle d'un enrobé à module élevé et d'un béton bitumineux.
- Insensibilité à l'orniérage.
- Performances mécaniques « modulables ».
- Risque de fissuration quasiment nul.
- **Point-clé : Emulsion / Ciment**

EXEMPLE DE CHANTIER

Rd 748 – la chapelle st-laurent (79), 2015

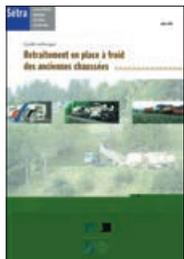
- Maître d'ouvrage : Conseil Général des Deux-Sèvres
- Trafic estimé : 195 PL/j (TC4)
- Structure existante : enrobé / GNT / sol support
- Étude de formulation : $\sigma_0 = 0,60$ MPa ; $E = 9.100$ MPa
- Dosage FLEXOCIM® : 4,5 % de ROLAC 645 + 1,5 % d'émulsion



CONCLUSION

- Technique intéressante
- Procédés spéciaux
- Besoins en matériel spécifique
- Avantages du retraitement en place
- Développement encore faible

BIBLIOGRAPHIE



Guide Technique
Retraitement en place
des anciennes chaussées
SETRA/LCPC, 2003.



T 71 •
L'entretien structural 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.

CHAPITRE 8

RETRAITEMENT DES CHAUSSÉES EN PLACE À FROID AUX LIANTS HYDRAULIQUES - RETOUR D'EXPÉRIENCE : A10

≡ RAPPEL DU RÉFÉRENTIEL TECHNIQUE	66
≡ RETOUR D'EXPERIENCE - VL TRONC COMMUN A10-A11	66
≡ BIBLIOGRAPHIE	69



RAPPEL DU RÉFÉRENTIEL TECHNIQUE



Technique d'entretien des anciennes chaussées

Reconstituer une nouvelle couche en plusieurs étapes :

- Fragmentation de la chaussée existante,
- Correction éventuelle par apport de granulats,
- Reprofilage transversal,
- Valorisation du matériau par ajout d'un liant, d'eau et malaxage,
- Mise en œuvre de la couche retraitée (épandage, réglage, compactage),
- Mise en œuvre d'une éventuelle couche de base et/ou liaison,
- Mise en œuvre de la couche de roulement.

Les avantages de la technique

- Environnementaux : économie de ressources naturelles, réduction de l'impact du transport des matériaux, économie d'énergie,
- Techniques : homogénéisation des matériaux en place, élimination des fissures, correction des profils, limitation des rehaussés de chaussées,
- Économiques : plus rapide que les techniques traditionnelles de reconstruction, limitation de l'évacuation des déchets, moindre recours à des ressources naturelles.

Les limites de la technique

- Dimension maximale du plus gros éléments (< 63 mm) : les chaussées rigides ou pavés sont exclus,
- Les mêmes limites que celles du produit traditionnel correspondant,
- Le comportement à long terme et en fatigue est assimilé à celui du produit conventionnel correspondant.



Les produits d'entreprise - eurovia

Chaque entreprise a inclus ce type de technique dans sa gamme.

EUROVIA propose RECYVIA® :

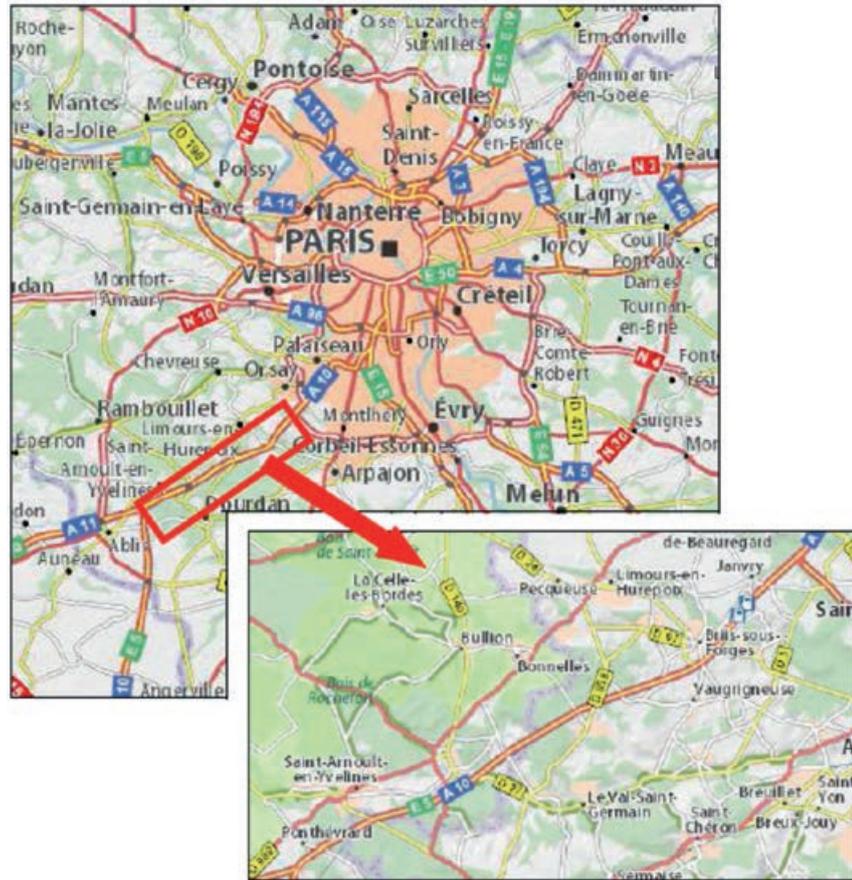
- 30 à 100 % de matériaux recyclés,
- Une expérience de plus de 20 ans – 3 millions de m² mis en œuvre,
- Traitement en place ou en centrale,
- Traitement à l'émulsion, à la mousse de bitume ou au liant hydraulique,
- Compatible pour couche de forme et couches d'assise.

RETOUR D'EXPERIENCE - VL TRONC COMMUN A10-A11

Historique et objectifs

- Traitement de la VL sur l'intégralité de l'itinéraire par section de 4 à 6 km par an depuis 2009,
- Problème de drainage et de dégradation prématurée de la VL => reprise de la VL et mise en place d'un drainage au niveau de la BAU,
- Répondre à un trafic de 3900 PL/jour – 30 ans – 5 % de croissance – TC730,
- Reprise générale de la couche de roulement avec purges éventuelles en VM.

Localisation du chantier



Techniques retenues

- Volonté de recourir à des techniques environnementales,
- Choix d'un retraitement en place de l'ancienne chaussée pour obtenir une couche de forme haut de gamme,
- Fort recours aux AE pour les couches d'assise (40 %) et roulement (20 %) en matériaux bitumineux.

Méthodologie type appliquée :

- Rabotage – 3 cm et stockage pour recyclage,
- Rabotage – 8 cm et stockage pour recyclage,
- Rabotage – 9 cm et évacuation,
- Traitement en place (LH) sur une épaisseur de 35 cm pour obtenir PF4,
- Mise en œuvre couche d'accrochage sur le traitement après rabotage de 5 cm,
- Mise en œuvre en 2 couches de 19 cm de RENFOVIA® 0/14 40R,
- Mise en œuvre de 3 cm de RUGOVIA® TM 0/10 20R au bitume modifié.

Méthodologie d'étude

- Reconnaissance «amont» sur l'ensemble de l'itinéraire par auscultation à grand rendement et carottages,
- Détermination tous les ans sur la zone à traiter de points représentatifs,
- Réalisation de sondages pour prélèvements de matériaux,
- Réalisation des études en laboratoire pour traduire les différents mélanges rencontrés,
- Choix du dosage en liant pour obtenir un matériau de classe mécanique 4 in situ.

• EXEMPLE 2015

		F1 (PK11+200 + PK12)			F2 - PK12)			F3 - PK11+200		
SABLE BITUME - %		93			70			70		
SOL EN PLACE (B2) - %					23			23		
LIGEX FPL1 - %		7			7			7		
W		W _{OPN}	W _{OPN} + 2 %	W _{OPN} - 2 %	W _{OPN}	W _{OPN} + 2 %	W _{OPN} - 2 %	W _{OPN}	W _{OPN} + 2 %	W _{OPN} - 2 %
Date de moulage		24/03/15	08/04/15	08/04/15	24/03/15	08/04/15	08/04/15	24/03/15	08/04/15	08/04/15
94100	Rt (Mpa)	0,3			0,37			0,34		
	E (Mpa)	4610			3900			4110		
	GV (%)	0,00			0,00			0,00		
	Aptitude	adapté			adapté			adapté		
28 jours	Date d'écrasement	20/04/15	06/05/15	06/05/15	20/04/15	06/05/15	06/05/15	20/04/15	06/05/15	06/05/15
	Rt (Mpa)	0,43	0,45	0,31	0,46	0,48	0,37	0,41	0,41	0,31
	E (Mpa)	1260	1610	1500	2060	2520	1880	1760	1610	1410
	Zone GTS	2	2	2	2	2	2	2	2	2
90 jours	Date d'écrasement	22/06/15	07/07/15	07/07/15	22/06/15	07/07/15	07/07/15	22/06/15	07/07/15	07/07/15
	Rt (Mpa)	0,50	0,51	0,30	0,52	0,58	0,38	0,45	0,51	0,36
	E (Mpa)	2040	2270	1820	2710	2630	2280	2650	2240	1840
	Zone GTS	2	2	3	2	2	3	2	2	3
Classe mécanique in situ		3	3	4	3	3	4	3	3	4

Réalisation du chantier et réception

Exemple 2015 :

- 20000 m² RECYVIA®,
- 9100 t RENFOVIA®,
- 1280 t RUGOVIA® TM.
- Réception en taux de compactage (objectif q3 atteint) et en portance (objectif PF4 atteint).

Reconnaissance de la structure en amont : 26 sondages



Proposition d'une solution de renforcement avec traitement en place et valorisation des recyclés issus du rabotage

3 à 5 cm BBM 0/10
0 à 21 cm de BB 0/14
0 à 18 cm de ED 0/14
20 à 36 cm de sable bitume
20 à 36 cm sablon rouge et blanc enrobé

3 cm RUGOVIA TM 0/10 + 20% d'AE couche 1
9 cm de RENFOVIA 0/14 + 40% d'AE couche 2
10 cm de RENFOVIA 0/14 + 40% d'AE couche 2
RECYVIA sur 35 cm Objectif : PF4



CHAPITRE 9

RETRAITEMENT DES CHAUSSÉES EN PLACE A FROID AUX LIANTS MIXTES - RETOUR D'EXPÉRIENCE : CHANTIER À L'INTERNATIONAL

≡ TRAITEMENT MIXTE RECYVIA 3/3 : 3% CIMENT + 3% ÉMULSION	72
≡ RETOUR D'EXPERIENCE : CHANTIER A L'INTERNATIONAL	73
≡ BIBLIOGRAPHIE	75

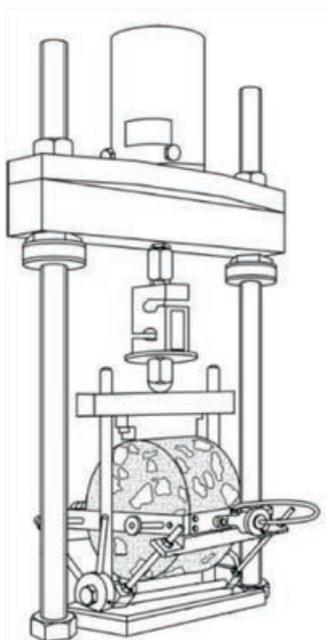


Historiquement

Retraitement en place d'anciennes chaussées au ciment avec une part importante de matériaux bitumineux.

Intérêt

- Plus faible module, sans chute importante de résistance >>> matériau présentant une meilleure performance intrinsèque
- Limitation de la fissuration de retrait (+ grande pérennité des structures)



Le traitement mixte : emploi, règles, avantages

- Liant mixte : ciment à 3% + émulsion de bitume (mousse) à 3%
- En place (P) ou en centrale (C)
- Matériaux :
 - > Agrégats d'enrobé (issus du rabotage in-situ)
 - > GNT (0/31,5) – (suivant granulométrie du mélange)
 - > Emulsion – classiquement C60 (indice de rupture > 170)
 - > Ciment – classe 32,5 ou 42,5
 - > Eau >> Optimum Proctor Modifié
- Avantage du retraitement mixte (environnementaux, matières premières, rapidité d'exécution)
- Limites des retraitements (dépendant des matériaux en place ; pavés, inclusions dans le corps de chaussée en milieu urbain)
- Epaisseur de retraitement jusqu'à 30 cm (suivant structure)
- Jusqu'à un trafic T0 (1200 PL/jour)
- Etudes similaires au retraitement général (préalable)
- Dimensionnement (Etudes laboratoire similaires MTLH)
- Approche performantielle :
 - > Module de rigidité : E (13286-43)
 - > Traction indirecte par fendage: Rtb (EN 13286-42)
- Procédé référencé dans le guide de retraitement en place à froid du SETRA (juillet 2003) – Livret III – **Classe V**

Le traitement mixte : matériel

Atelier type pour le retraitement en place :
(Epandeuse Liant)

- Citerne eau
- Citerne émulsion
- Raboteuse (Wirtgen)
- Atelier de compactage (P et VT)



RETOUR D'EXPERIENCE : CHANTIER A L'INTERNATIONAL

PRODUIT	CHANTIER	% AE	LIANTS	E/RTB (MPa)
RECYVIA (FLEX) Canada (en place / centrale)	Ville de Québec	70%	1-2 % ciment + 3 % d'émulsion ou mousse de bitume	3000-4000 / ?
RECYVIA Roumanie (PHE)	Brasov	100% AE	3 % de ciment + 3 % d'émulsion	9500/0,6
RECYVIA Pologne (PHE)	DK16 - Itawa	70%	3 % de ciment + 3 % d'émulsion	-
RECYVIA Rep. Tchèque (PHE)	Route n°3 Librice-Smirice	60%	3 % de ciment + 3 % d'émulsion	4700/0,4

- EUROVIA – Pologne : DK – 16, Itawa
- Retraitement en place émulsion + ciment (trafic KR 1 – 4 = faible à moyen)



Route départementale : Trzebinia



Contournement de Chrzanów

EUROVIA – Pologne

- Structure « type » proposée en variante



EUROVIA – Roumanie : Brasov

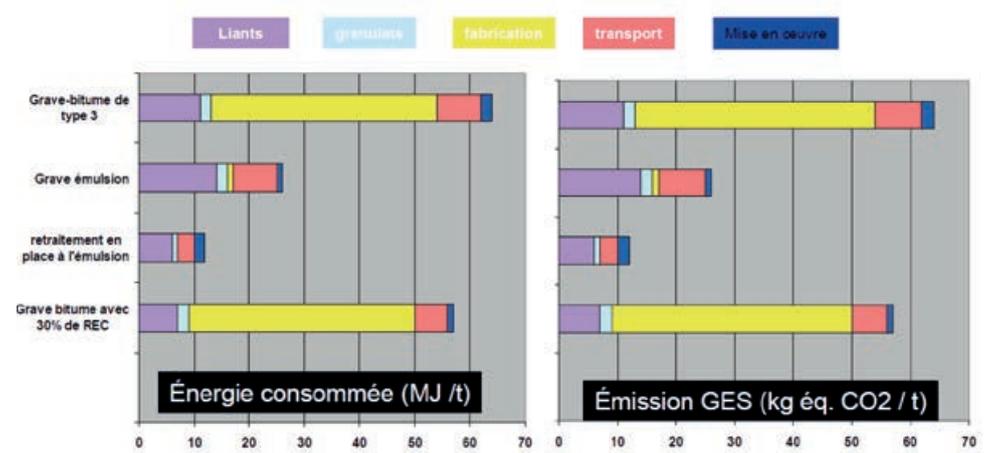
- Trafic de 10 millions d'essieux (11,5 t)
- Retraitement en place sur 18 cm (précautions particulières fraisage + compactage)
- RECYVIA en couche de base
- Module de rigidité = 9 500 MPa
- Traction indirecte = 0,58 MPa

NB : 3 % de ciment \approx 10000 MPa (0,58 MPa)

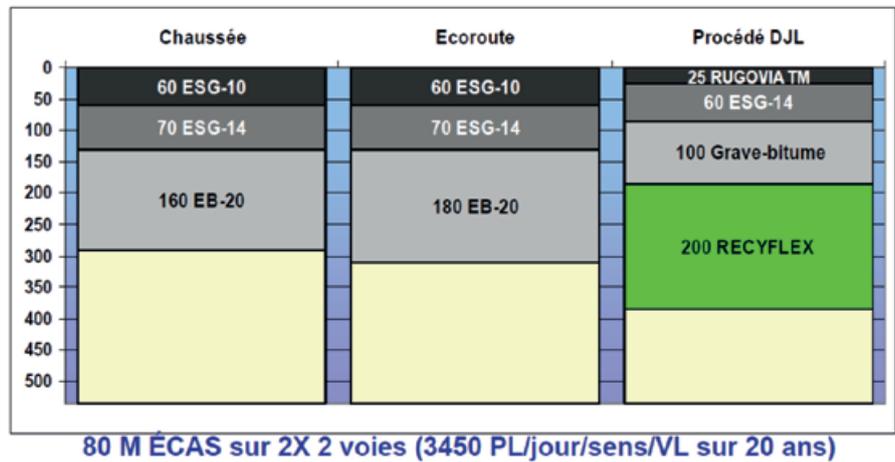
>>> maîtrise de la fissuration **MTLH de classe 3** (pré-fissuration, procédés de limitation, etc.)

EUROVIA – Canada - RECYFLEX

>> Traitement en centrale à l'émulsion (1,5 à 2,2%) + ciment (0,8 à 1,5%)



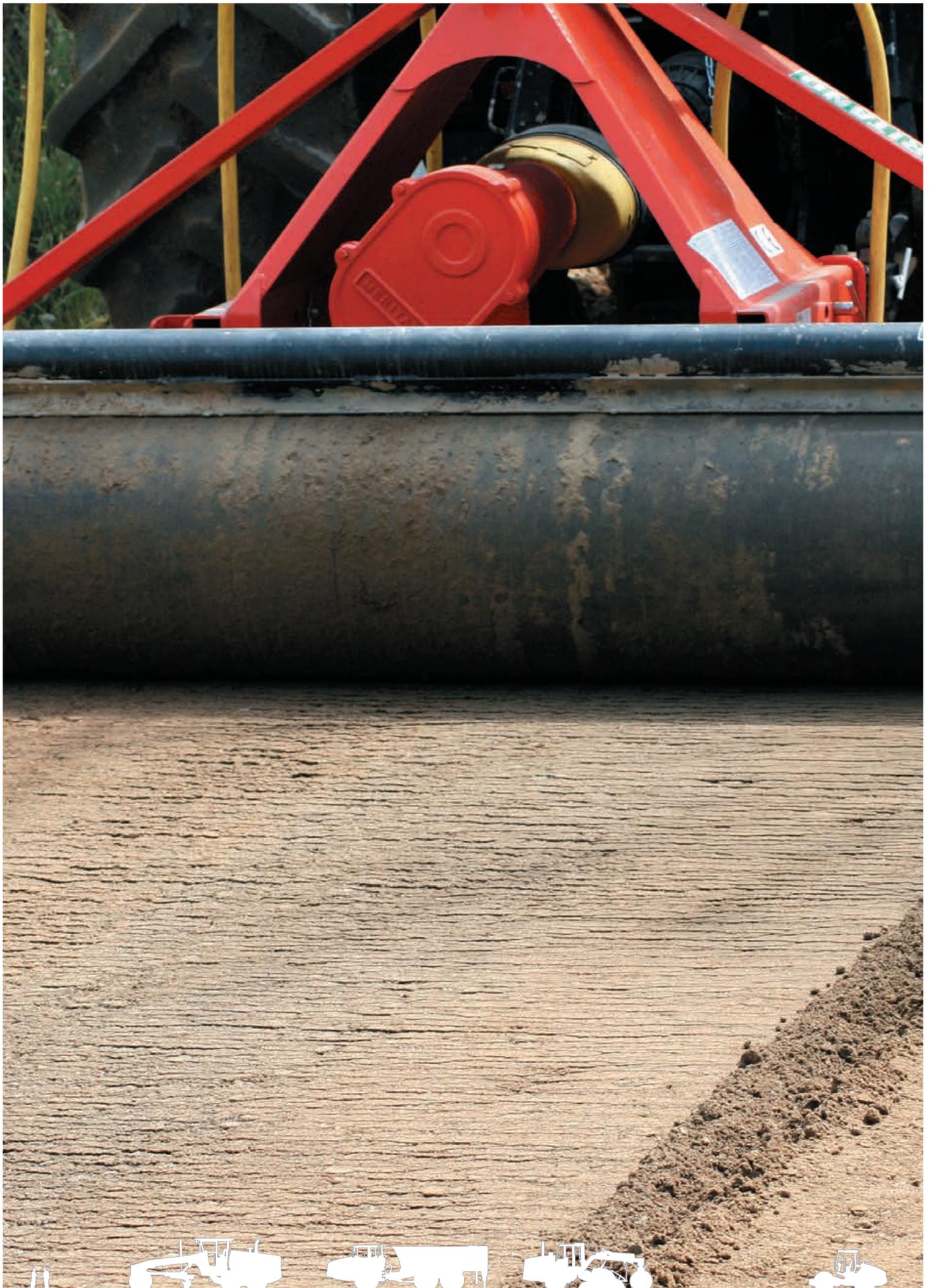
>> Application sur 2x2 voies: Autoroute n°20 en couche de fondation



EUROVIA – Canada - RECYVIA



Route 202 – Lacolle - Québec



CHAPITRE 10

VALORISATION DES MATÉRIAUX EN PLACE ÉVOLUTION DU MATÉRIEL

≡ INTRODUCTION	78
≡ VALORISATION DES MATÉRIAUX EN PLACE	78
≡ L'APPROVISIONNEMENT DU LIANT	78
≡ L'ÉPANDAGE	79
≡ LE MALAXAGE	80
≡ LE NIVELAGE	83
≡ LE COMPACTAGE	84
≡ CONCLUSION	85
≡ BIBLIOGRAPHIE	85



INTRODUCTION

La valorisation des matériaux en place ou en centrale évolue depuis de nombreuses années :

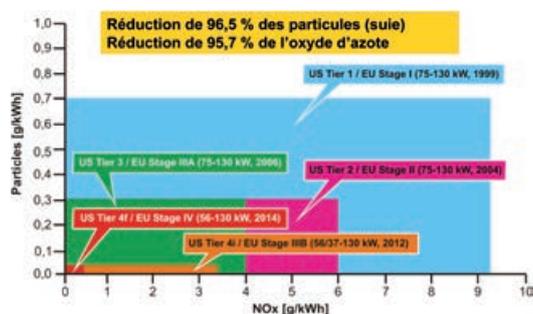
- Procédés
 - Matériel
- L'un ne peut aller sans l'autre.

L'évolution du matériel prend en compte les 3 piliers du Développement Durable :

- **Écologique** : impact contrôlé sur l'environnement
- **Sociétal** : sécurité et ergonomie
- **Économique** : performances et enregistrement pour la gestion du chantier.

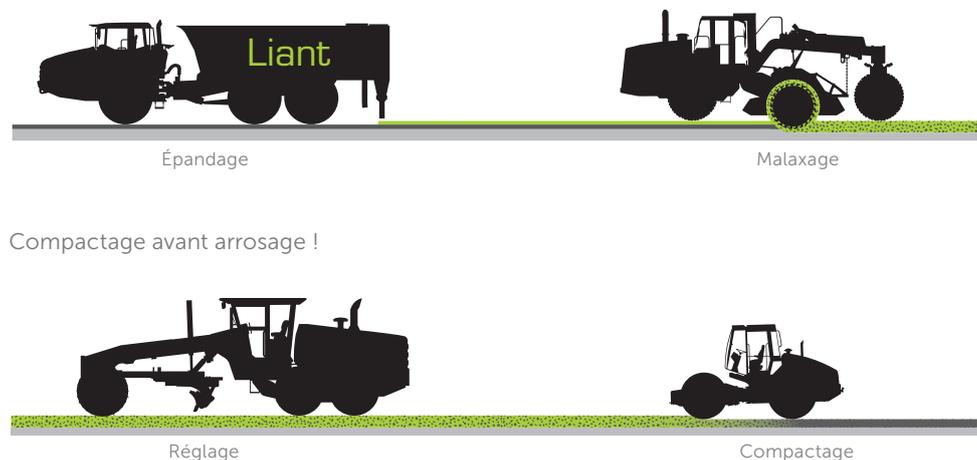
Réduction des émissions de polluants

Évolution de la réglementation européenne et américaine



VALORISATION DES MATÉRIAUX EN PLACE

Les opérations



L'APPROVISIONNEMENT DU LIANT

Le matériel

- Il permet un approvisionnement rapide et en quantité appropriée avec les besoins pour l'épandage.
 - > Vrac pour emploi immédiat ou stockage en silos par camions citernes
 - > Sacs (exceptionnel actuellement)

En 1970, des sacs...



...10 ans plus tard, du vrac



Capacité des citernes

- En 1980 : 24 t
- En 2014 : 27 t

Cadences d'approvisionnement

- Chantiers moyens : 4 à 5 porteurs par jour (4 à 5000 m²/J)
- Grands chantiers : adapté aux capacités d'épandage (40 porteurs par jour)

À certaines conditions possibilités du Fercam (train + camion) : 1200 t / livraison

L'ÉPANDAGE

Évolution des épandeurs

- Besoins : quantité épandue adaptée avec une répartition uniforme du liant.
- Apport du matériel : assurer une homogénéité d'épandage et en un minimum de passe.

Types et capacités des épandeurs

- TRACTÉ
Capacité : 10 à 19 m³
Largeur de travail fixe ou variable : 1 à 2,8 m
> Les plus : Jupe anti poussières,
Contrôle et gestion du dosage.
- PORTÉ
Capacité : 2 à 3,5 m³
Largeur de travail fixe ou variable : 0,8 à 2,5 m
> Les plus : Boitier de commande en cabine,
Sonde niveau de la cuve.
- SUR CHÂSSIS ROUTIER OU AUTOMOTEUR
Capacité de 10 à 18 m³
Largeur d'épandage fixe ou variable de 0,6 à 2,5m
> Les plus : Filtration anti poussières au chargement,
Graissage centralisé,
Caméra de recul,
Pneus large pour sol faiblement porteur...

Tracté



Porté



Automoteur



Qualité de l'épandage

Débit volumétrique du liant asservi avec la vitesse de l'épandeur
> Répartition homogène quelle que soit la vitesse.

Débit volumétrique ajusté par un contrôle pondéral, asservi à la vitesse de l'épandeur
> Adaptation à la variété des densités des liants.

Largeur d'épandage variable
> Gain de temps et éviter les surépaisseurs dans les zones de chevauchement.

Précision du dosage longitudinal et transversal
> Critères L / T

Qualité longitudinale et transversale
du dosage Critères L / T
Transversal < 10 %
Longitudinal < 5 %



Évolution des épandeurs

Automatisation du nettoyage du rotor alvéolaire.

Avantage : garantie pour la précision d'épandage.



Les épandeurs - conclusion

Grace à leurs caractéristiques le matériel permet :

- d'avoir le CV (coefficient de variation) adapté au besoin,
- des largeurs variables d'épandage.

Amélioration des performances, de l'ergonomie du poste de conduite, facilité d'utilisation.

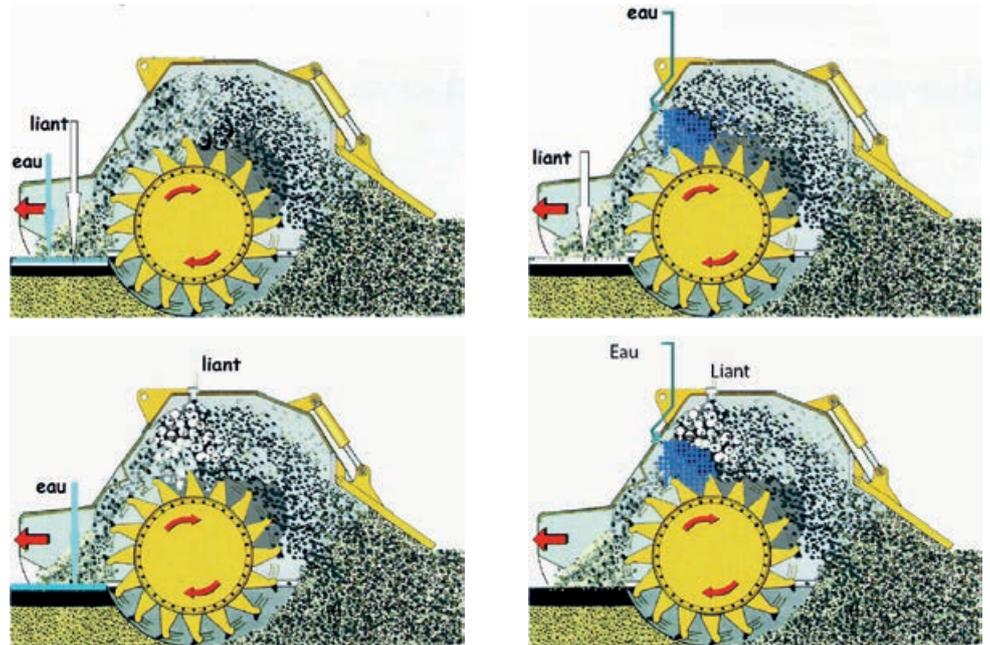
LE MALAXAGE

Le matériel de malaxage

- Ce matériel est connu sous les noms : malaxeur, pulvimixeur, pulvérisateur ou stabilisatrice en place
- Il permet de :
 - > décohesionner ou fragmenter les matériaux en place,
 - > mélanger de façon homogène ces matériaux avec le(s) liant(s) et l'eau.



Principe de fonctionnement des stabilisateurs en place



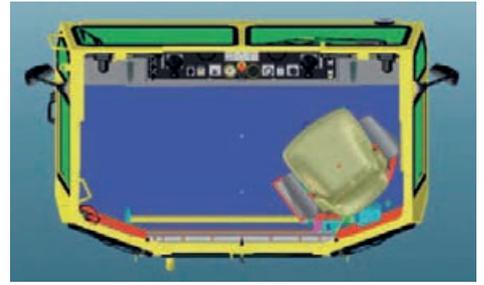
Types de matériels

- Pour :
 - > traitement des sols en place
 - > retraitement des chaussées en place
- Trois types de matériels :
 - > tracté
 - > automoteur
 - > atelier de reconditionnement de chaussées multifonction (épandage et malaxage)

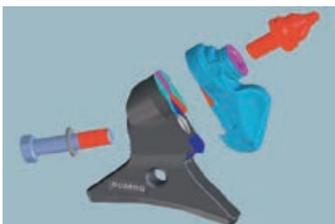


- TRACTÉ
 - Rotor horizontal – mouture fine – bonne homogénéité
 - Profondeur : 20 à 40 cm
 - Largeur de travail : 2,2 m à 2,5 m
 - > Le plus : Rampe d'injection d'eau dans la cloche

- AUTOMOTEUR
 - Profondeur : 30 à 60 cm
 - Largeur : 2,4 m à 2,6 m
 - > Les plus : Essieu oscillant
 - Caméra de recul
 - Ergonomie poste de conduite.
 - > Ergonomie : Cabine,
 - Poste de conduite droite ou gauche ,
 - Siège réglable,
 - Visibilité accrue,
 - Facilité d'entretien.



- ATELIER DE RECONDITIONNEMENT DE CHAUSSÉES
 - Profondeur 40 cm - Mouture fine



Qualité du malaxage

La qualité du malaxage dépend :

- > de la puissance disponible sur le rotor,
- > de la vitesse de rotation du rotor,
- > de la vitesse d'avancement de l'engin,
- > de la forme et du nombre des outils,
- > de leur disposition sur le rotor,
- > de leur usure,
- > du volume de matériau retenu dans la chambre de malaxage.

Ces caractéristiques permettent de classer le matériel suivant HEPIL

Niveleuses

- Ergonomie
- Sécurité
- Gestion de la maintenance
- Aide à la conduite pour une qualité d'exécution



Ergonomie

- **Meilleure visibilité** : forme de la cabine et du vitrage, larges rétroviseurs et de plus en plus caméra arrière et monitor
- **Facilité de conduite** : joystick électrohydraulique, moins d'effort, plus de précision
- **Confort** : siège réglable pour réduire les vibrations



Sécurité

- Détection du conducteur : frein serré si conducteur absent
- Cabine ROPS FOPS
- Coupe batterie
- Bruit et vibration



Gestion de la maintenance

- Surveillance à distance de la machine pour assurer une meilleure disponibilité.
- Envoi des données à distance :
 - > diagnostic en temps réel
 - > accès facile, aux données enregistrées, pour technicien entretien
- Information du conducteur de toute anomalie par l'intermédiaire d'un affichage



Aide à la conduite – qualité d'exécution

Positionnement de la machine par GPS et contrôle du nivellement de la plateforme. Assurance d'une meilleure précision du nivellement par rapport aux valeurs visées.

Les compacteurs

- Matériel incontournable, les compacteurs sont de divers types
Principales évolutions des dernières années :
- amélioration de la visibilité,
- amélioration du compactage (puissance et forme de la bille ...),
- guidage des engins, mesure et enregistrement des données.



Ergonomie

Visibilité,
Isolation cabine,
Joysticks,
Climatisation,
Moyens d'accès



Amélioration du compactage / contrôle continu du compactage

- 3 objectifs :
 - > Faciliter les tâches de l'opérateur,
 - > vérifier les opérations de compactage en vue de leur évaluation,
 - > Gérer le contrôle automatique de compactage.

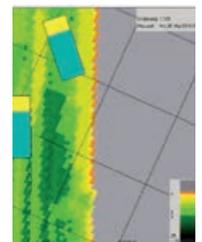
La traçabilité absolue du compactage !

- 6 caractéristiques :
 - > Rigidité du sol,
 - > Évolution du compactage,
 - > Positionnement et traçabilité pendant les opérations de compactage,
 - > Documentation en continu,
 - > Rapport de vérification et documentation,
 - > Communication.



Mesure, enregistrement et gps

- **Informations enregistrées pour le contrôle du compactage**
 - > Identification du compacteur, de la surface traitée, historique des opérations, évaluations statistiques, ...
- **Communication entre dispositifs de compacteurs intelligents**
 - > Électronique embarqué, communication sans fil, protocole de communication...
- **Contrôle de fin du compactage**
 - > comparaison entre ce qui est réalisé et le but à atteindre
- **Traçabilité du compactage**
 - > positionnement avec ou sans GPS ou cartographie à bord



CHAPITRE 11

VALORISATION DES MATÉRIAUX EN PLACE ASPECTS ÉCONOMIQUES

≡ LES ASPECTS ÉCONOMIQUES	88
≡ COMPARAISONS COUCHE DE FORME TRAITÉE/NON TRAITÉE	89
≡ COMPARAISONS ÉCONOMIQUE TRAITEMENT DU SOL VS RECOURS AUX EMPRUNTS	90
≡ COMPARAISONS ÉCONOMIQUE RETRAITEMENT VS RENFORCEMENT GB	91
≡ BIBLIOGRAPHIE	91



La nécessité d'une étude économique

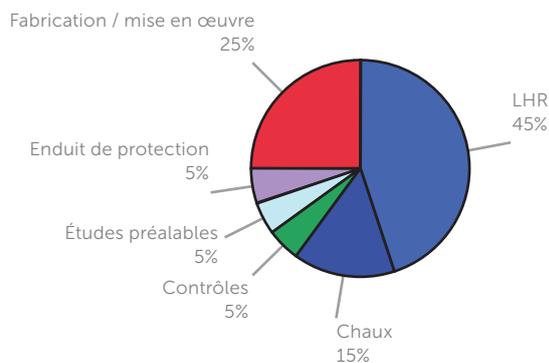
La décision de recourir à la valorisation en place des sols ou des graves doit être justifiée par une étude économique prenant en compte un maximum d'aspects et notamment, ceux induits par les contraintes de protection de l'environnement.

La méthodologie d'une étude économique

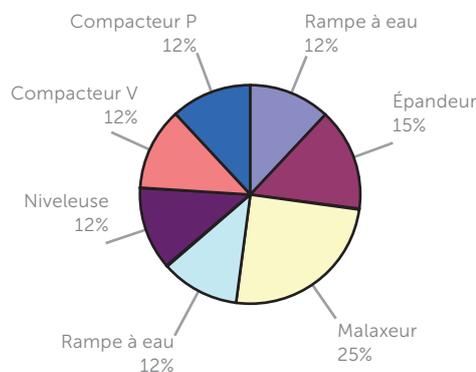
L'étude économique consiste à comparer l'estimation du coût de la solution valorisation à celui de solutions alternatives traditionnelles. Cette comparaison doit notamment se faire à partir d'une analyse affinée des différentes composantes du coût (direct et indirect) de chaque solution.

Décomposition du coût d'un sol traité

INCIDENCE DE CHAQUE POSTE DANS LE COÛT TOTAL DU SOL TRAITÉ



INCIDENCE DE CHAQUE ENGIN DANS LE COÛT DE LA FABRICATION ET DE LA MISE ŒUVRE DU SOL TRAITÉ



Décomposition des coûts des techniques

TRAITEMENT		EMPRUNTS GRANULAIRES	
Fabrication et transport du liant	50 à 60 %	Extraction et fabrication des granulats	40 à 45 %
		Transport des granulats	40 à 45 %
Mise en œuvre	20 à 25 %	Mise en œuvre, études et contrôles	10 à 20 %
Etudes préalables, contrôles et enduits de protection	15 à 25 %		

RETRAITEMENT		RENFORCEMENT	
Fabrication et transport du liant	60 %	Fraisage	5 à 10 %
		Fabrication en centrale (fabrication & transport des constituants compris)	40 à 60 %
Mise en œuvre	10 à 20 %	Transport (centrale -> chantier)	5 à 10 %
Etudes préalables et contrôles	20 à 30 %	Mise en œuvre, études et contrôles	30 à 40 %

VRNS - GB3/SC3 - Trafic TC6₂₀ (6,5 MPL)

		CDF TRAITÉE		CDF NON TRAITÉE		
PST 3 Arase		AR1	AR2	AR1	AR2	GTR 92
Matériaux CdF		A2 Traité		D21 Non Traité		GTR 92
CAS 1	Epaisseur CdF (m)	0,35	0,35	0,40	0,30	GTR 92
	Classement PF	PF2	PF3	PF2	PF2	GTR 92
	Chaussée GB3/SC3	14/22	11/19	14/22	14/22	Cat. Struct. 98
CAS 2	Epaisseur CdF (m)	0,50	0,35	0,80	0,50	GTR 92
	Classement PF	PF3	PF3	PF3	PF3	GTR 92
	Chaussée GB3/SC3	11/19	11/19	11/19	11/19	Cat. Struct. 98

Comparaison des structures PF2 & PF3

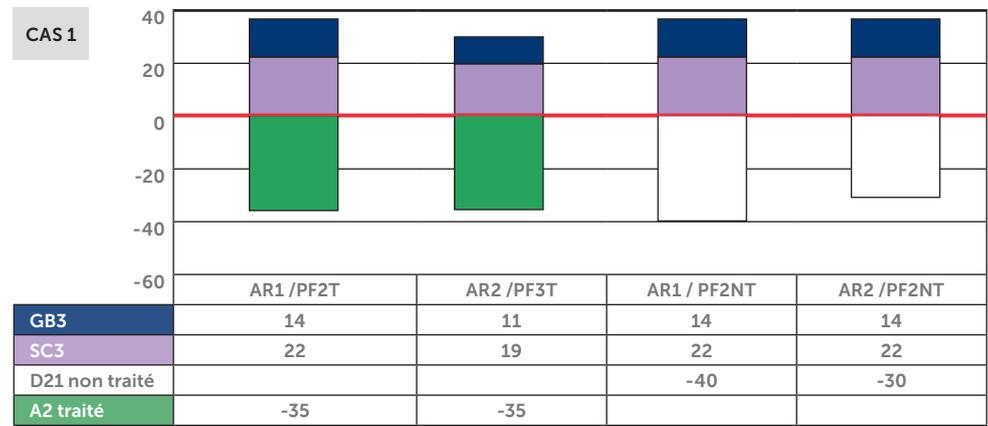
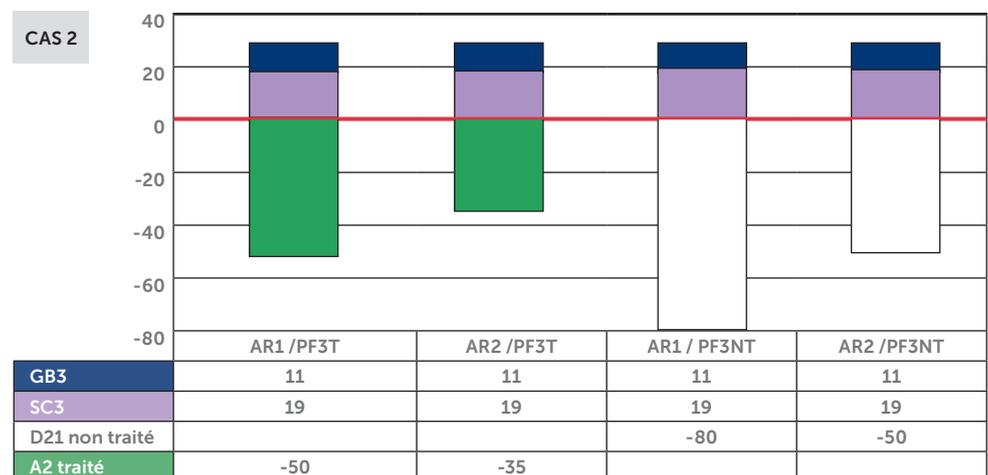


Plate-formes optimisées PF3



Bilan

Sous réserve d'une vérification de la tenue au gel.

Systématiser la PF3 pour une structure de chaussée minimum & unique en AR1/AR2

Les répercussions économiques se situent alors au niveau de la couche de forme.

Hyp. : coût A2 traité CaO + ciment = coût D21 = 23 €/m³

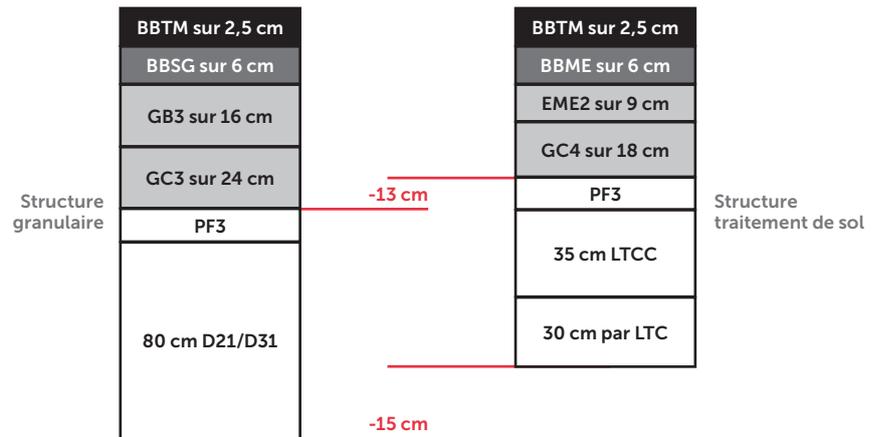
Ecart en AR1/PF3 : 23 € x (0,80 - 0,50) = 6,90 €/m²

Ecart en AR2/PF3 : 23 € x (0,50 - 0,35) = 3,45 €/m²

(Hors surcoût de mise en dépôt sols fins en solution NT)

Avantage solution traitée

Plate-formes et structures de chaussées optimisées



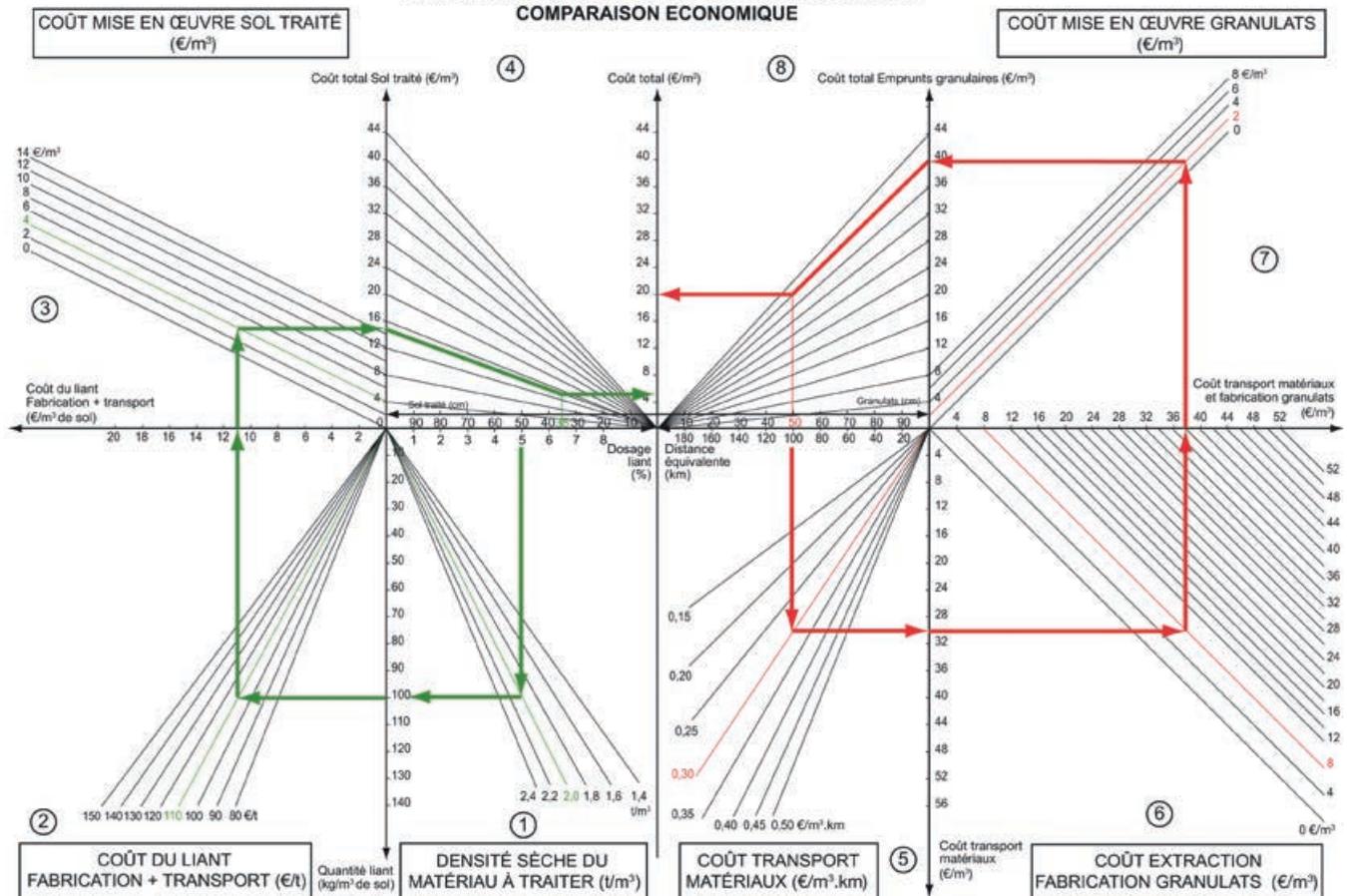
COMPARAISONS ÉCONOMIQUE TRAITEMENT DU SOL VS RECOURS AUX EMPRUNTS

Cas des PST et couches de forme

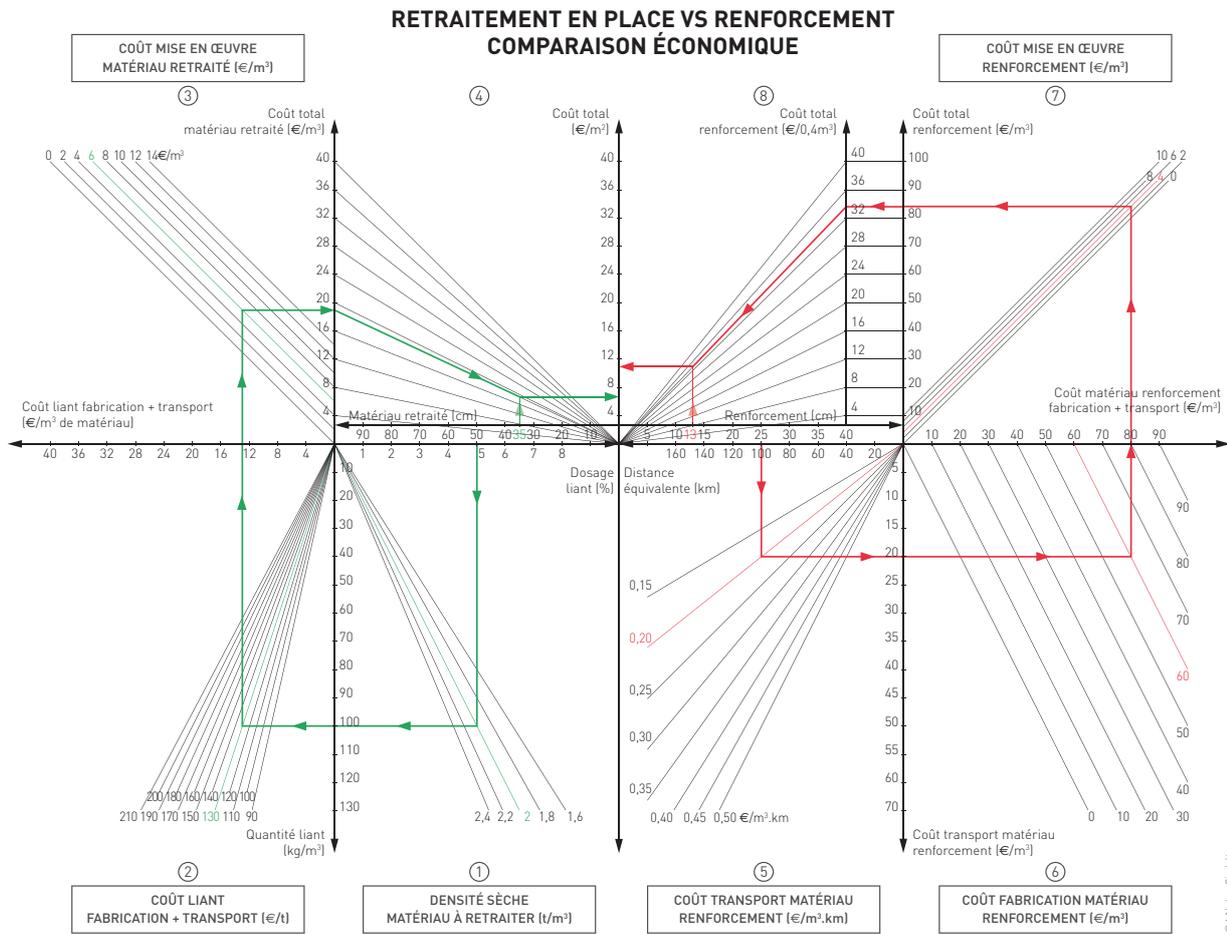
C'est souvent à ce niveau de **transition entre terrassements et chaussées** que doit porter l'essentiel de la réflexion stratégique de dimensionnement car les répercussions technico-économiques ne sont pas négligeables.

C'est aussi l'originalité de la méthode française de conception des chaussées qui cherche à valoriser au mieux les performances de la plate-forme pour le dimensionnement des chaussées.

TRAITEMENT DES SOLS VS EMPRUNTS GRANULAIRES COMPARAISON ECONOMIQUE



COMPARAISONS ÉCONOMIQUE RETRAITEMENT VS RENFORCEMENT GB



© J. Abud - Cimbéton

BIBLIOGRAPHIE



Guide Technique
Réalisation des remblais
et des couches de forme
Fascicule I et Fascicule II
SETRA / LCPC, 1992
(réédité en 2000).



Guide Technique
Traitement des sols
à la chaux et/ou aux liants
hydrauliques
Application en remblais
et couches de forme
SETRA / LCPC, 2000.



Guide Technique
Retraitement en place des
anciennes chaussées
SETRA / LCPC, 2003.



Guide Technique
Traitement des sols
à la chaux et/ou aux liants
hydrauliques
Application en assises
de chaussées
SETRA / LCPC, 2007.



T 30 • Étude comparative
en technique routière.
Traitement des sols vs
emprunts granulaires.
Méthode graphique de
comparaison économique et
environnementale,
CIMbéton, 2009.



T 31 • Étude comparative
en technique routière.
Retraitement des chaussées
en place vs renforcement.
Méthode graphique de
comparaison économique et
environnementale,
CIMbéton, 2010.



T 70 • Terrassements
et assises de chaussées.
Traitement des sols
aux liants hydrauliques,
CIMbéton, 2013.



T 71 • L'entretien
structurel des
chaussées souples
et semi-rigides
Le retraitement
en place à froid aux
liants hydrauliques,
CIMbéton, 2013.



Disponible sur le site : lhr.cimbeton.net



CHAPITRE 12

VALORISATION DES MATÉRIAUX EN PLACE CONTRIBUTION AU DÉVELOPPEMENT DURABLE

≡ LES SOLUTIONS CIMENT/LHR POUR LA CONTRIBUTION AU DÉVELOPPEMENT DURABLE	94
≡ LES ANALYSES DE CYCLE DE VIE ACV	95
≡ BIBLIOGRAPHIE	100



Valorisation énergétique



Lutte contre l'effet de serre et valorisation matière



Réaménagement des carrières



Du côté de l'industrie cimentière

Les sociétés cimentières et leurs partenaires mettent tout en œuvre **pour respecter l'environnement et réduire les nuisances :**

- liés à **l'extraction** des matières premières,
- lors de la **fabrication** du ciment et des liants hydrauliques routiers,
- lors de la **mise en œuvre** des matériaux.

Au niveau des cimenteries

- **Des ressources énergétiques préservées** (Efficacité énergétique des installations, recours à des combustibles de substitution) et des impacts minimisés (en particulier gaz à effet de serre).
Nota : Pour la période 1990 – 2000, l'industrie cimentière a réduit de 20% les émissions de CO₂ à la tonne de ciment.
- **Des commissions de concertation** avec les riverains, les élus et les associations pour les informer de la bonne marche des installations et des projets en cours.
- **Large gamme de produits adaptés aux besoins :**
 - > nature des ouvrages,
 - > nature des sols,
 - > optimisation des dosages,
 - > performances visées.
- **Qualité** et régularité,
- **Disponibilité** sur tout le territoire,
- **Conformes aux normes,**
- Capacité de livraison adaptée,
- Compétence et assistance technique basées sur plus de 25 ans d'expériences,
- Constante innovation.

Au niveau des entreprises

- Les **entreprises de terrassements** et les **entreprises routières** ont adopté depuis plusieurs années ces solutions techniques pour limiter les nuisances et les impacts dans la construction neuve et dans les travaux d'entretien des chaussées et des plates-formes.
 - les **techniques de valorisation des matériaux par traitement aux liants hydrauliques**, font maintenant partie des solutions **couramment pratiquées et maîtrisées** par les entreprises :
 - > Du remblai courant pour voirie locale, aux ouvrages routiers et autoroutiers, puis aux plates-formes portuaires et aéroportuaires, puis aux plates-formes de toutes natures, de la plus petite à la plus grande, puis aux infrastructures pour TGV, etc.
 - > En effet, il faut savoir qu'en France, aujourd'hui, plus de 30% des sols tassés en moyenne chaque année sont traités aux liants hydrauliques.
- Bien entendu, tous les problèmes n'ont pas été résolus, la technique, comme toute technique, présente encore des marges de progrès.
- Par exemple :
- Comment traiter tous les sols ?
 - Peut-on réduire les délais d'étude en laboratoire ?
 - Quelle est la durabilité des sols traités ?
 - Avec quelles machines traiter les matériaux blocailleux ?

Au niveau des maîtres d'ouvrage

Bien entendu, cela ne s'est pas fait tout seul. Nous le devons à la volonté de la **Maîtrise d'ouvrage / Maîtrise d'œuvre** publique, animée :

- par un souci d'économie,
- de bonne gestion des ressources naturelles,
- de respect des délais,
- et de préservation de l'environnement.

Elle a su pour cela entretenir un véritable **dialogue** entre tous les intervenants, projeteurs, entrepreneurs, constructeurs de matériels, producteurs de liants, pour faire **progresser la technique** en s'appuyant sur les retours d'expérience.

Mais surtout, à l'instar des entreprises, la Maîtrise d'ouvrage publique a su faire face à ses responsabilités en assumant sa part de risques, bien épaulée en cela par son réseau technique des laboratoires qui a assuré avec succès les **travaux de recherche et de codification**.

Au niveau des fabricants de matériels

Pour les constructeurs de matériels, il fallait satisfaire la demande des concepteurs et des entreprises en répondant à leurs besoins technologiques dans les domaines de traitement des sols et du retraitement des chaussées.

Les **matériels spécifiques** « **Épandeur** » et « **Malaxeur** » ont été sans cesse perfectionnés pour apporter au niveau des chantiers :

- puissance,
- performance,
- précision,
- rendement,
- contrôle embarqué par ordinateur,
- suivi GPS.

LES ANALYSES DE CYCLE DE VIE ACV

Comment évalue-t-on les impacts environnementaux ?

On utilise le concept de « **Analyse de Cycle de Vie** » ou **ACV**, défini par la **Norme NF P 01 010**. L'analyse de cycle de vie (ACV) est un outil pour évaluer les impacts environnementaux d'un système (c'est-à-dire l'ensemble des opérations de rapportant à un produit fini).

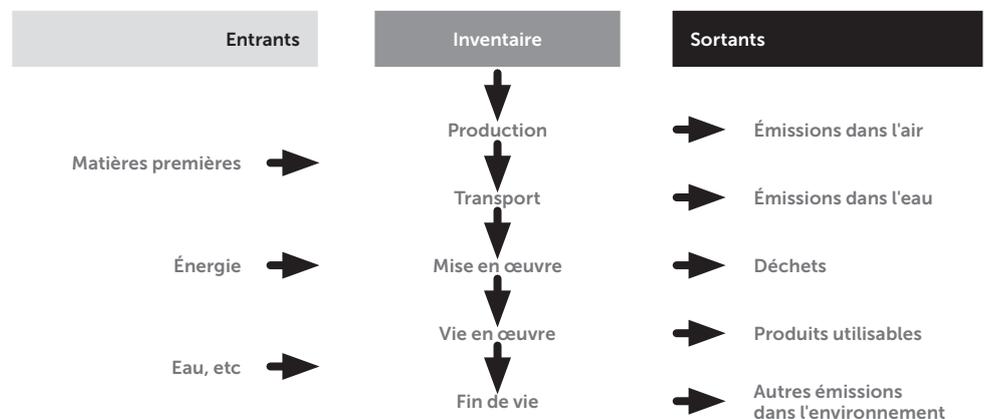
La méthodologie de l'ACV est décomposée en 4 étapes :

- définitions des objectifs (frontières du système étudié),
- l'inventaire de cycle de vie (ICV),
- évaluation des impacts sur l'environnement,
- recherche d'améliorations.

Qu'est-ce que l'inventaire de cycle de vie « ICV » ?

L'ICV consiste à faire le bilan des flux entrant et sortant sur toutes les phases de cycle de vie d'un produit fini.

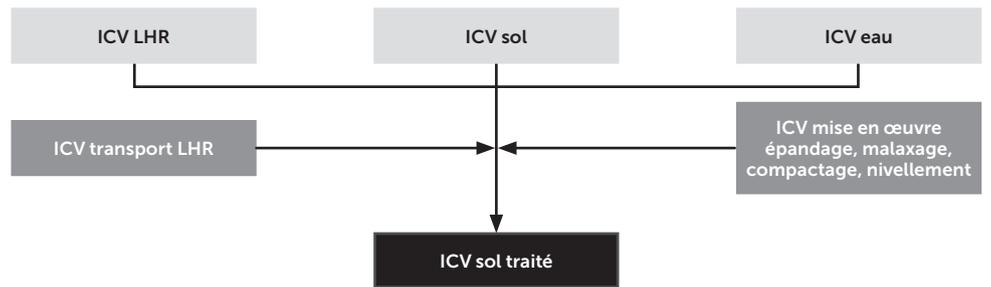
Ces flux sont ensuite regroupés et pondérés pour calculer les 10 impacts environnementaux cités dans la norme NF P 01-010.



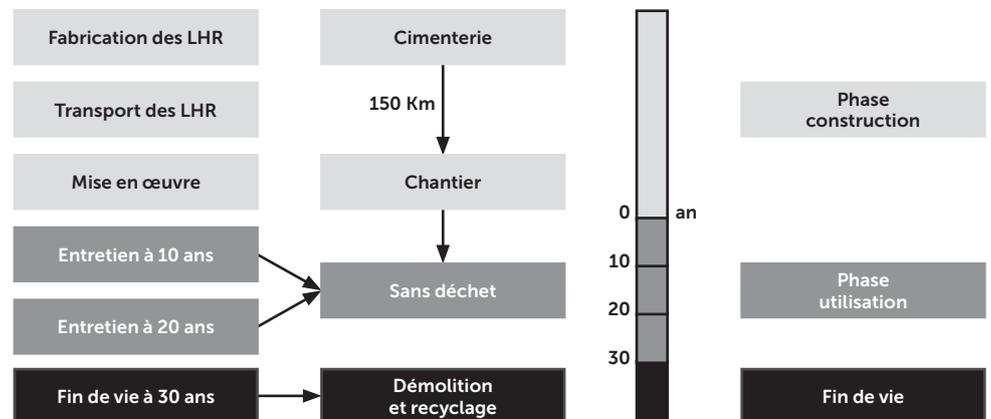
Les données d'inventaires (ICV) sont quantitatives et présentées sous forme de tableaux regroupés en plusieurs grandes catégories.

- Consommation des ressources naturelles énergétiques et non énergétiques
- Consommation d'eau
- Consommation d'énergie récupérée, de matière récupérée
- Émissions dans l'air
- Émissions dans l'eau
- Émissions dans le sol
- Déchets valorisés
- Déchets éliminés

Qu'est-ce que l'inventaire de cycle de vie « ICV » d'un sol traité ?



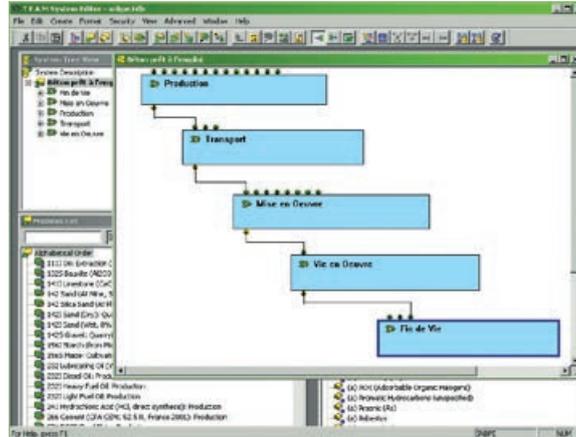
Étapes et phases de l'ACV d'une route construite avec des matériaux traités



Les 10 indicateurs environnementaux

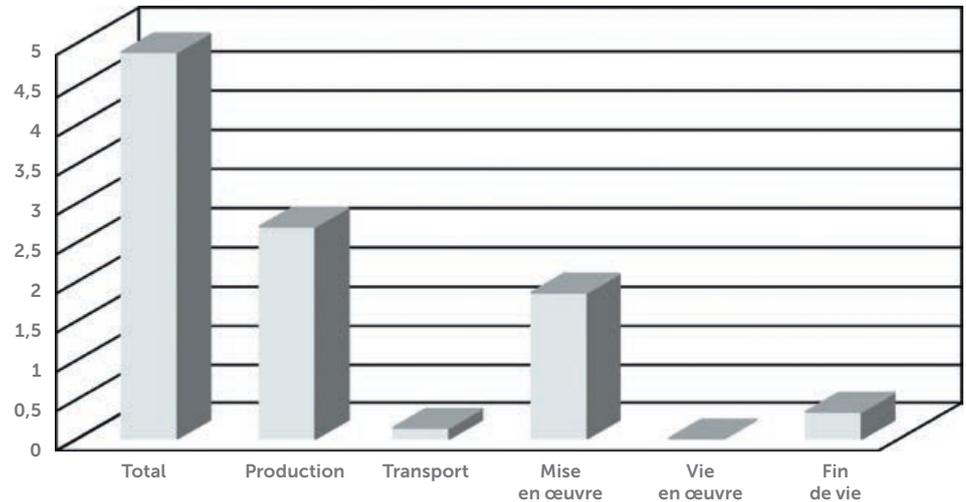
- 1/ Consommation de ressources énergétiques
- 2/ Indicateur d'épuisement de ressources
- 3/ Consommation de l'eau
- 4/ Déchets solides
- 5/ Changement climatique
- 6/ Acidification atmosphérique
- 7/ Pollution de l'air
- 8/ Pollution de l'eau
- 9/ Destruction de la couche d'ozone stratosphérique
- 10/ Formation d'ozone photochimique

Modélisation



Quelques résultats ACV

ÉNERGIE PRIMAIRE TOTALE (EN MJ)



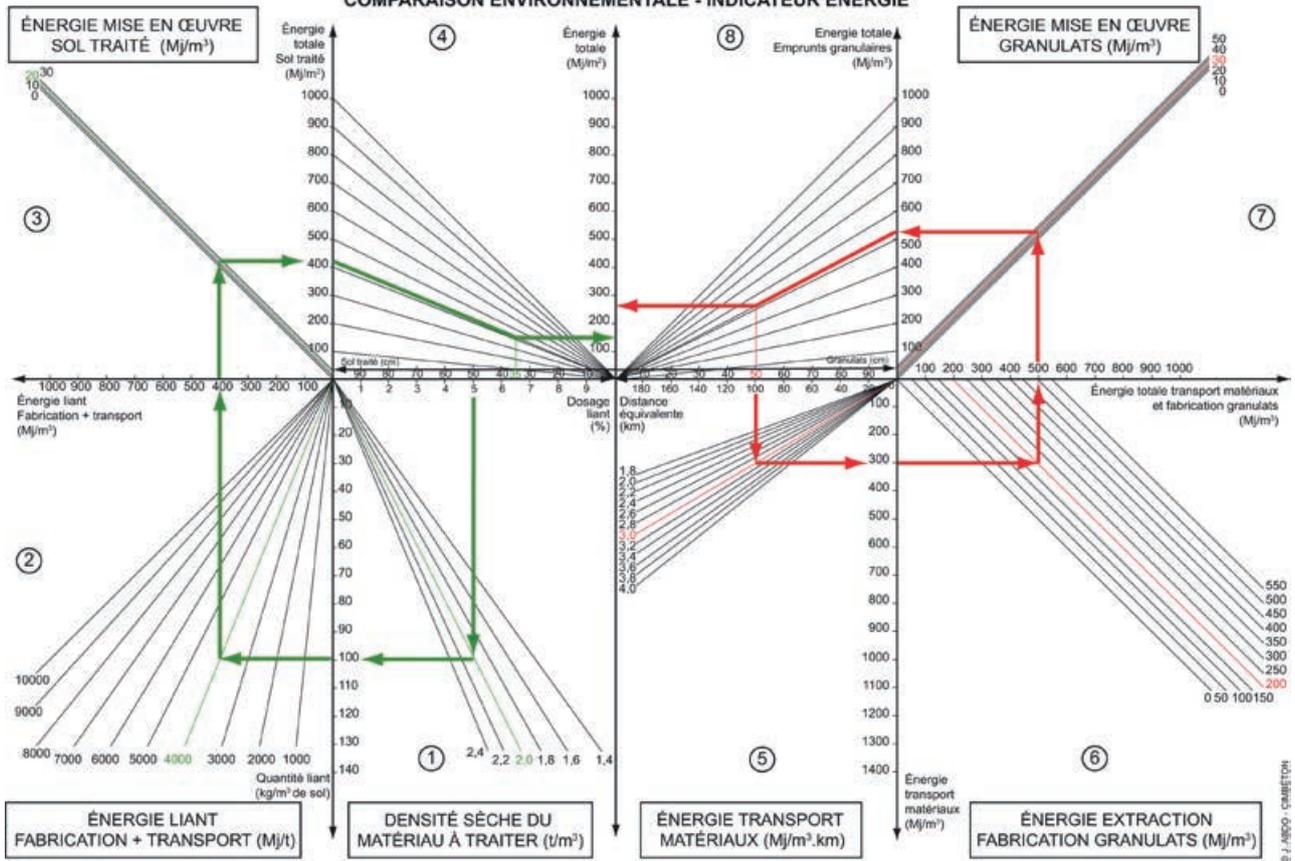
Décomposition des impacts environnementaux des techniques

TRAITEMENT		EMPRUNTS GRANULAIRES	
Fabrication et transport du liant	90 à 95 %	Extraction et fabrication des granulats	35 à 40 %
		Transport des granulats	50 à 55 %
Mise en œuvre, études préalables et contrôles	5 à 10 %	Mise en œuvre, études et contrôles	5 à 10 %

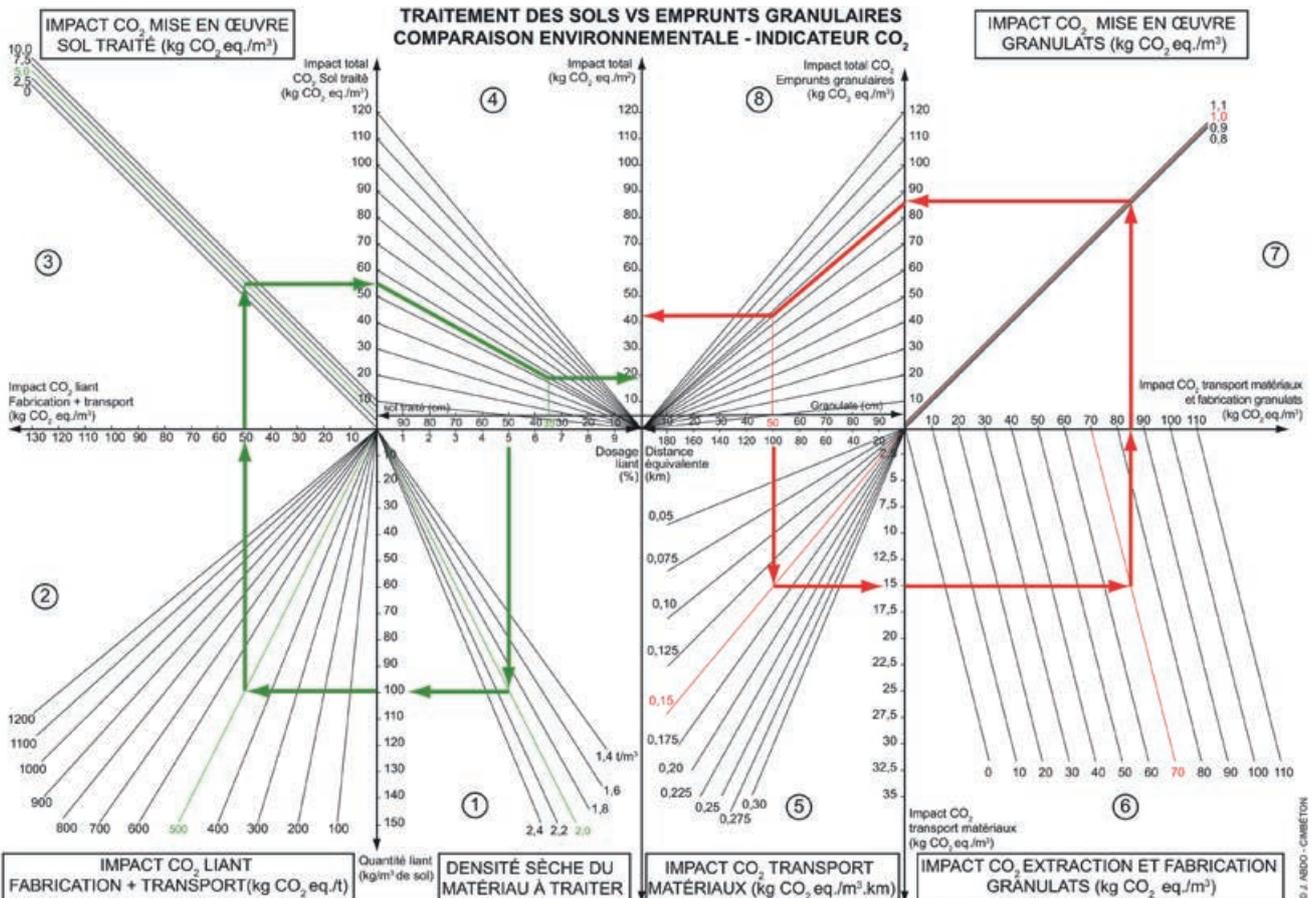
RETRAITEMENT		RENFORCEMENT	
Fabrication et transport du liant	90 à 95 %	Fraisage	5 à 10 %
		Fabrication en centrale (fabrication & transport des constituants compris)	75 à 85 %
Mise en œuvre, études préalables et contrôles	5 à 10 %	Transport (centrale -> chantier)	5 à 10 %
		Mise en œuvre, études et contrôles	3 à 5 %

Comparaison environnementale

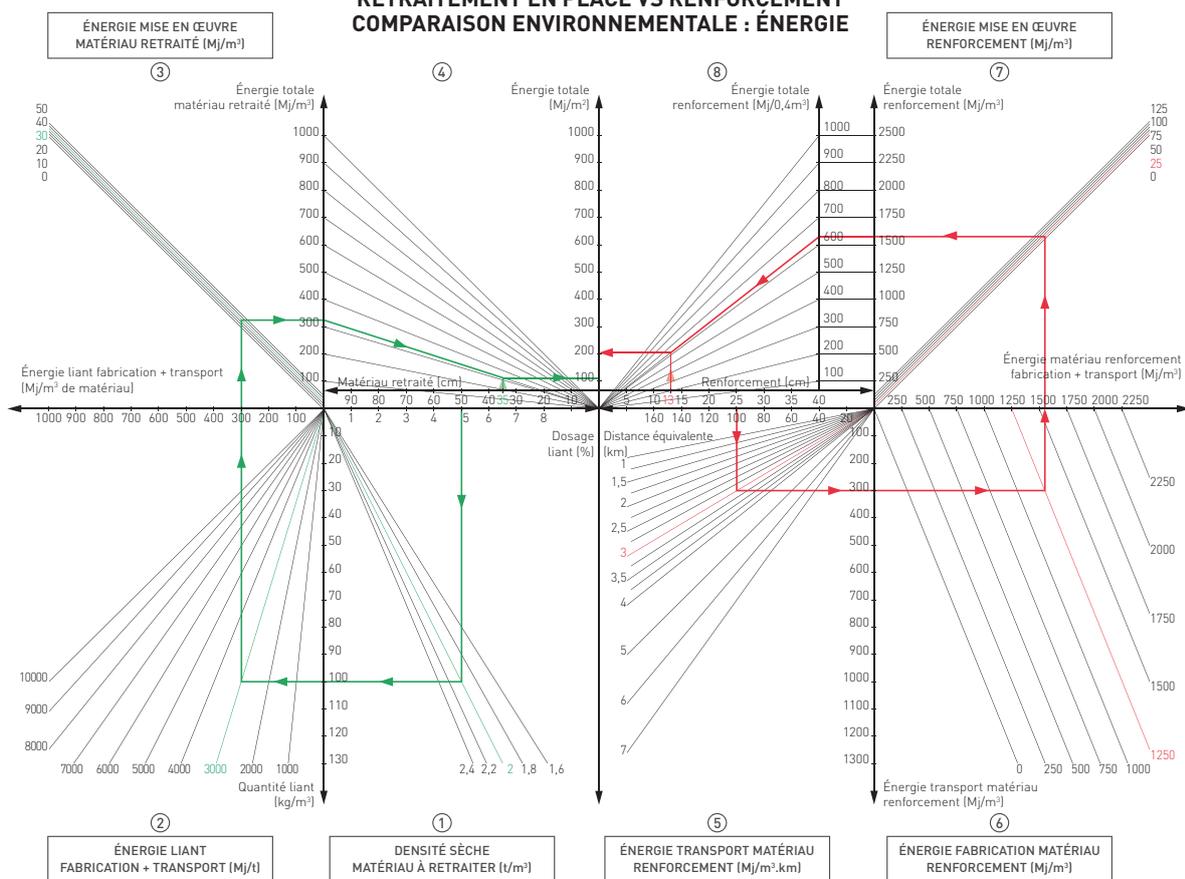
TRAITEMENT DES SOLS VS EMPRUNTS GRANULAIRES COMPARAISON ENVIRONNEMENTALE - INDICATEUR ENERGIE



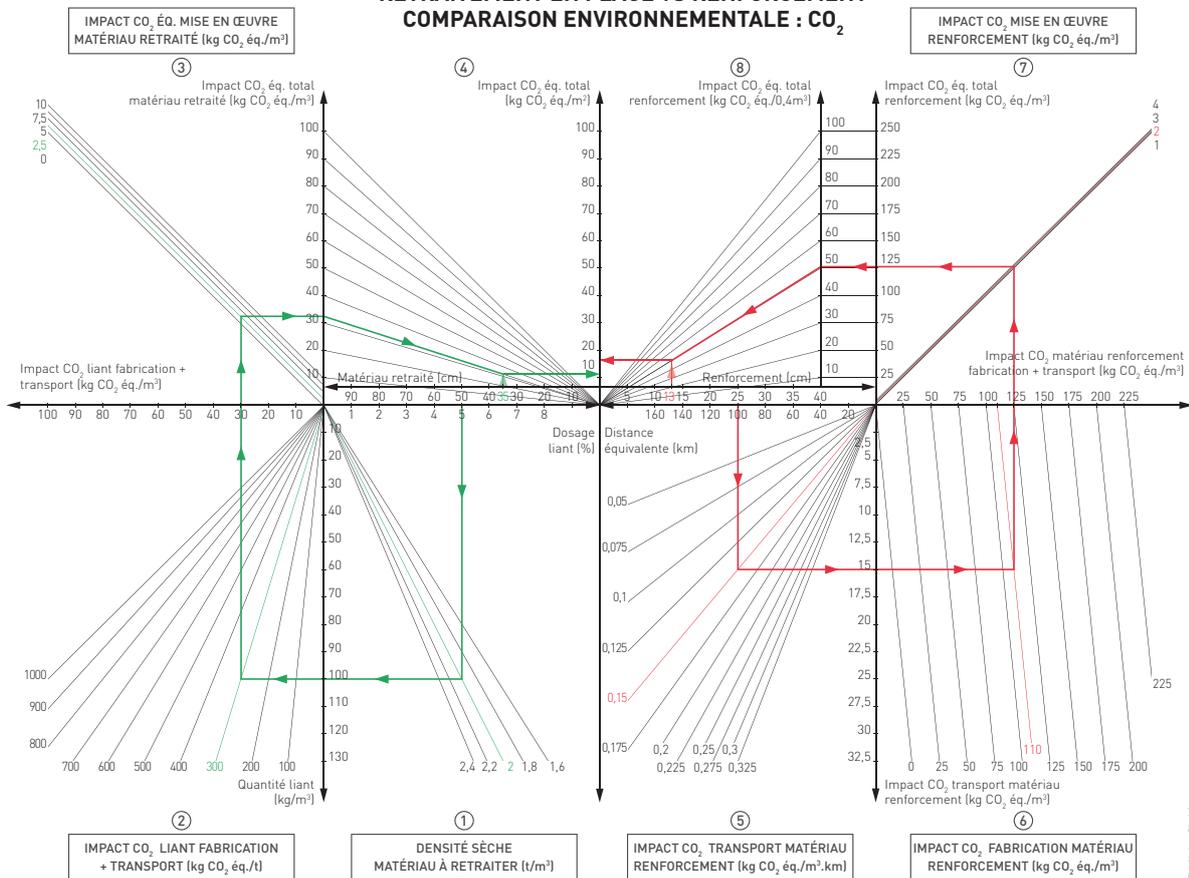
TRAITEMENT DES SOLS VS EMPRUNTS GRANULAIRES COMPARAISON ENVIRONNEMENTALE - INDICATEUR CO₂



RETRAITEMENT EN PLACE VS RENFORCEMENT COMPARAISON ENVIRONNEMENTALE : ÉNERGIE



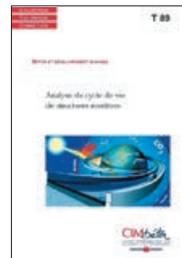
RETRAITEMENT EN PLACE VS RENFORCEMENT COMPARAISON ENVIRONNEMENTALE : CO₂



BIBLIOGRAPHIE



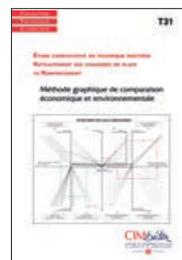
T 88 • Béton et Développement Durable
Analyse du cycle de vie de structures routières
Document synthétique CIMbéton.



T 89 • Béton et Développement Durable
Analyse du cycle de vie de structures routières
CIMbéton.



T 30 • Étude comparative en technique routière.
Traitement des sols vs emprunts granulaires.
Méthode graphique de comparaison économique et environnementale,
CIMbéton, 2009.



T 31 • Étude comparative en technique routière.
Retraitement des chaussées en place vs renforcement.
Méthode graphique de comparaison économique et environnementale,
CIMbéton, 2010.



Logiciel de comparaison économique et environnementale • Disponible sur le site : lhr.cimbeton.net

CHAPITRE 13

VALORISATION DES MATÉRIAUX EN PLACE CONCLUSION

≡ LE CONTEXTE	104
≡ LE BILAN	105
≡ LES VOIES DE PROGRÈS	106



Prise de conscience... pour l'environnement

- 1987 : Rapport BRUNTLAND
- 1992 : Sommet de la terre à Rio
- 1998 : Protocole de Kyoto

Enjeux environnementaux

- Raréfaction des ressources naturelles
- Changement climatique
- Pollution

Prise en compte... au niveau de l'État

- 1992 : Réglementation Déchets
- 2007 : MEDAD... MEEDDAT... Grenelle de l'Environnement... MEEDDM... MEDDTL

Prise en compte... dans la route

- Objectifs :
 - > minimiser la consommation des ressources naturelles,
 - > réduire la consommation des énergies fossiles,
 - > diminuer les émissions des gaz nocifs pour l'environnement et pour la santé.
- Les solutions :
 - > valorisation des matériaux en place,
 - > réduction des distances de transport,
 - > techniques à froid,

Valorisation des matériaux en place aux liants hydrauliques routiers

- **Bilan environnemental positif**
- Aspects économiques : techniques très compétitives. **Les économies engendrées** par les techniques de valorisation des matériaux en place par rapport aux techniques classiques **peuvent atteindre 30%**.
- Aspects réglementaires et normatifs : techniques parfaitement codifiées
- Aspects techniques: techniques maîtrisées à tous les stades (de la conception à la réception des ouvrages). **Un réseau de fournisseurs et d'entreprises quadrillent tout le territoire.**



Guide Technique
Réalisation des remblais
et des couches de forme
Fascicule I et Fascicule II
SETRA / LCPC, 1992
(réédité en 2000).



Guide Technique
Retraitement en place
des anciennes chaussées
SETRA / LCPC, 2003.



Guide Technique
Traitement des sols à la chaux
et/ou aux liants hydrauliques
Application en remblais
et couches de forme
SETRA / LCPC, 2000.



Guide Technique
Traitement des sols à la chaux
et/ou aux liants hydrauliques
Application en assises
de chaussées
SETRA / LCPC, 2007.

DOCUMENTS CONSULTABLES ET TÉLÉCHARGEABLES SUR :
LHR.CIMBETON.NET



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.



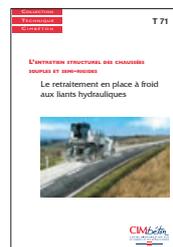
T 30 • Étude comparative
en technique routière.
Traitement des sols
vs emprunts granulaires.
Méthode graphique
de comparaison économique
et environnementale,
CIMbéton, 2009.



T 70 • Terrassements
et assises de chaussées.
Traitement des sols
aux liants hydrauliques,
CIMbéton, 2013.



Logiciel de comparaison
économique et
environnementale •
Disponible sur le site :
lhr.cimbeton.net



T 71 • L'entretien structurel
des chaussées souples
et semi-rigides
Le retraitement
en place à froid aux liants
hydrauliques,
CIMbéton, 2013.

LE BILAN

Recul très variable selon...

- Les techniques...
Traitement de sols ou Retraitement de chaussées.
Recul plus important pour la technique de « Traitement des sols en place ».
- Les régions...
Techniques bien développées dans les régions dépourvues de ressources granulaires.
Ile-de-France, Normandie, Nord, Champagne, Centre...
- Les entreprises...
Entreprises de terrassements ou entreprises routières.
Mais aussi, au sein même de chaque famille d'entreprises !

Les points positifs...

- Bon comportement sous tous trafics **depuis 20 ans pour le Retraitement et 40 ans pour le Traitement.**
- Les **performances mécaniques** mesurées à 1 an sont **comparables à celles observées avec les matériaux élaborés en centrale !**
- **Bon uni et maintien de l'uni dans le temps.**
- **Fissuration transversale bien maîtrisée si techniques de préfissuration et LHR !**

Les points délicats... à surveiller !

- Les études préalables : **attention aux inhibiteurs de prise des LHR !**
- L'organisation des travaux : **bien préparer le chantier... Ces techniques n'aiment pas l'improvisation ! Surtout, attention aux délais de maniabilité des LHR.**
- La cure : **à faire dans les délais, avec beaucoup de soin.**
- L'entretien de la fissuration : **à faire et au bon moment !**
- La remise en circulation : **délai minimal à observer !... Rc > 2,5 MPa.**

LES VOIES DE PROGRÈS

État des lieux :

- **Bilan favorable sur tous les plans :**
 - > technique,
 - > économique,
 - > environnemental.
- **Développement mitigé des techniques**
 - > Très bon développement de la technique de traitement des sols en Terrassements,
 - > Moins bon développement en Assises de chaussées !...
 - > Développement très limité de la technique de Retraitement des chaussées en place à froid aux LHR...

Les pistes...

- **Informier tous les acteurs et diffuser les connaissances sur ces deux techniques,**
- **Convaincre la Maîtrise d'Ouvrage, la Maîtrise d'Oeuvre...**
 - > De la nécessité d'intégrer ces techniques dans le cadre des Appels d'Offres !
 - > Mieux, de les imposer en Solution de Base !
- **Convaincre les entreprises et les fournisseurs de répondre aux Appels d'Offres d'une façon compétitive.**

**Pour notre belle planète !...
... Et les générations futures !**

CIMbéton

CENTRE D'INFORMATION SUR
LE CIMENT ET SES APPLICATIONS



7, place de la Défense | 92974 Paris-la-Défense Cedex | Tél. : 01 55 23 01 00 | Fax : 01 55 23 01 10
centrinfo@cimbeton.net | www.infociments.fr | lhr.cimbeton.net



version avril 2018

© CIMbéton 2018. Photos DR.

Conception et réalisation : Fenêtre sur cour.

avec nos partenaires

