

**LES LIANTS HYDRAULIQUES
POUR LA VALORISATION DES MATÉRIAUX EN PLACE**
ÉCOLOGIE, ÉCONOMIE ET CONTRIBUTION AU DÉVELOPPEMENT DURABLE

NOUVEAU !
lhr.cimbeton.net



JOURNÉES TECHNIQUES CIMBÉTON

Cahier de conférence



LES LIANTS HYDRAULIQUES POUR LA VALORISATION DES MATÉRIAUX EN PLACE

ÉCOLOGIE, ÉCONOMIE ET CONTRIBUTION AU DÉVELOPPEMENT DURABLE

INTRODUCTION	5
CHAPITRE 1 CONSTRUCTION ET ENTRETIEN DES ROUTES	9
CHAPITRE 2 ASPECTS RÉGLEMENTAIRES ET NORMATIFS	15
CHAPITRE 3 TRAITEMENT DES SOLS	21
CHAPITRE 4 RETRAITEMENT DES CHAUSSÉES EN PLACE À FROID AUX LIANTS HYDRAULIQUES : LES ASPECTS GÉNÉRAUX	33
CHAPITRE 5 ÉVOLUTION DU MATÉRIEL	53
CHAPITRE 6 ASPECTS ÉCONOMIQUES	63
CHAPITRE 7 CONTRIBUTION AU DÉVELOPPEMENT DURABLE	69
CHAPITRE 8 CONCLUSION	79





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, ni orniérage



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'utilisateur 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 1

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

≡ LE CONTEXTE	10
≡ LES IMPACTS DES PROJETS ROUTIERS	10
≡ LES SOLUTIONS CIMENT/LHR POUR RÉDUIRE CES IMPACTS	11
≡ BIBLIOGRAPHIE	12



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 :

- 200 Millions de tonnes de Granulats sont puisées annuellement dans les ressources naturelles, soit un volume de 100 Millions de m³,
- 3,4 Millions de tonnes de bitume (sources GPB),
- 2 Millions de tonnes de liants hydrauliques (Ciment/LHR - sources SFIC).

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.

NOTES





CHAPITRE 2

VALORISATION DES MATÉRIAUX EN PLACE ASPECTS RÉGLEMENTAIRES ET NORMATIFS

≡ LE CADRE RÉGLEMENTAIRE ET NORMATIF

16

≡ BIBLIOGRAPHIE

19



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 ».
- **NFP 15 108** : « Liants hydrauliques - Liants hydrauliques routiers - Composition, spécifications et critères de conformité ».
- **NF EN 459-1** : « Chaux de construction - Partie 1 : définitions, spécifications et critères de conformité ».
- **EN 13282** : Les liants hydrauliques routiers seront définis prochainement par une norme européenne EN 13282 (Parties 1 et 2) « Liants Hydrauliques Routiers à durcissement rapide et/ou 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 14227-10** : « Mélanges traités aux liants hydrauliques - Spécifications - Partie 10 : Sols traités aux ciments ».
- **NF EN 14227-13** : « Mélanges traités aux liants hydrauliques - Spécifications - Partie 13 : Sols traités aux liants hydrauliques routiers ».
- **NF EN 13 242** : « 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 ».
- **XP 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 :

- **XP 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 ».
- **XP 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 94 114-2** : « Sols - Reconnaissance et essais - Portance des plates-formes - Partie 2 : Module sous chargement dynamique ».
- **NF P 94 117** : « Sols - Reconnaissance et essais - Essais in situ - Essai statique de chargement à la plaque ».
- **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 94 118** : « Chaussées - Terrassements - Exécution des terrassements - Caractérisation des sols en place - Essai à la dynaplaque ».
- **NF P 98 200** : « Essais relatifs aux chaussées - Mesure de la déflexion ».
- **NF P 98 218-1** : « Essais relatifs aux chaussées - Essais liés à l'uni - Partie 1 : Mesure avec la règle fixe de trois mètres ».
- **NF P 98 218-2** : « Essais relatifs aux chaussées - Essais liés à l'uni - Partie 2 : Mesure avec la règle roulante de trois mètres ».

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 ».



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.

NOTES



CHAPITRE 3

VALORISATION DES MATÉRIAUX EN PLACE LE TRAITEMENT DES SOLS

≡ PRÉSENTATION	22
≡ CONSTITUANTS	22
≡ AMÉLIORATION	23
≡ STABILISATION	24
≡ PÉRENNITÉ DU TRAITEMENT	27
≡ MATÉRIELS DE TRAITEMENT	27
≡ RÉALISATION DU TRAITEMENT EN PLACE	29
≡ CONTRÔLES	30
≡ BIBLIOGRAPHIE	31



Définition

- modification «naturelle» d'un sol ou par ajout d'un "élément".

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 plus « technique » et donc plus délicate.

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 : MO – sulfates – nitrates...
 - Caractéristiques physiques : dureté - abrasivité

Produits de traitement

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

	CIMENT	LIANTS HYDRAULIQUES ROUTIER
NORME	NF EN 197-1	NF P 15-108 (en projet : EN 13282)
NOM	CEM	HBR
TYPE	I à V (Portland pur ... composé)	
CLASSES RC	32,5 – 42,5 – 52,5 MPa (28 jours)	10 – 20 – 30 MPa
À COURT TERME (sur pâte pure)	Rc (2 ou 7 jours) : R (rapide) – N (normale) – L (lente)	Délai de prise «courant» (< 180 mn) – «rapide» (< 45 mn)
DÉLAI DE MANIABILITÉ (à 20° sur mélanges)	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 Calcaire – laitiers HF – CV – pouzzolane – schistes calcinés ...	Laitiers HF – clinker - chaux Calcaire – laitiers LD – CV – pouzzolane – schistes calcinés ...

AMÉLIORATION

Accroissement, MÊME TEMPORAIRE, des caractéristiques géotechniques

Objectifs

- Réutilisation des sols «impropres» trop humides
- Moyens : diminution de la teneur en eau naturelle
- Conséquence : amélioration de la portance : EV2 > à environ 25 / 30 MPa
→ Permettre un compactage correct (effet d'enclume)
→ Assurer la traficabilité des engins de chantier
- Performances

IPI	A1	A2 / B6	A3	B4	B2 / B5	R12 / 13
À PARTIR DUQUEL IL FAUT TRAITER	8	5	3	15	12	10
À ATTEINDRE APRÈS TRAITEMENT	10 / 20	7 / 15	5 / 10	20 / 40	15 / 30	15 / 30

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 spécifique** :
– Dosage minimum moyen : 2 à 3 %
– Malaxage : pulvi-mixer (ou centrale)
→ **Chaux vive** :
– Dosage minimum moyen : 1 à 3 %
– Malaxage : charrue (ou pulvi-mixer)

Effets des traitements

	NATUREL	LHR	CHAUX VIVE
EFFET	Abaissement de la teneur en eau	Augmentation de la rigidité (prise hydraulique)	Abaissement de la teneur en eau sur les sols argileux 1 – augmentation de WP et WOPN 2 – diminution OPN et Ip
DÉLAI D'ACTION	1 à quelques jours	Quelques heures	Immédiat
ACTIONS À LONG TERME	Aucune	Sur tous les sols : augmentation des caractéristiques mécaniques (R – C – Phi)	Sur les sols argileux : 1 - augmentation des caractéristiques géotechniques (portance – insensibilité à l'eau) et mécaniques (R – C – Phi) 2 – Modification de la structure : Formation de grumeaux stables non collants > matériau plus «sableux» et plus «maniab» (> intérêt du pré-traitement dans le cas du traitement aux LH des sols argileux).

Accroissement PÉRENNE des caractéristiques géotechniques et mécaniques.

Destinations principales

- **Remblais techniques**
 - Arase / PST (support de couche de forme),
 - Blocs techniques des OA et des OH,
 - Zones humides ou inondables,
 - Talus raidis.
- **Couches de forme**
 - Structures routières,
 - Structures aéroportuaires,
 - Structures ferroviaires,
 - Plates-formes industrielles.
- **Couches de chaussées des voies à faible et moyen trafics ($\leq TC5/T1$)**

Intérêts par rapport aux matériaux granulaires

- **Avantages**
 - Utilisation de sols naturellement impropres,
 - Réduction d'épaisseur (à performance équivalente),
 - Performances mécaniques plus élevées (PF4/assises de chaussées).
- **Limites**
 - Délais à respecter pour avoir, "avant utilisation", une résistance suffisante :
 - Pour pouvoir remettre en circulation,
 - Pour pouvoir bénéficier de l'insensibilité à l'eau et de la non-géllivité.
 - Mise en œuvre plus délicate.

Performances à atteindre

- **Arases et remblais techniques**
 - Performances requises :
 - pérennité = insensibilité à l'eau : $CBR \geq IPI$
 - portance $EV2 \geq 50$ MPa soit CBR au moins > 15
 - Liants :
 - Chaux : pour les matériaux à tendance « argileuse » ($VBS >$ à environ 1)
Dosage moyen : 1 à 2 %
 - Liants hydrauliques : pour des matériaux à tendance « sableuse » ($VBS <$ à environ 1)
Dosage moyen : 3 à 4 %
- **Couches de forme et assises de chaussées**
 - Remise en circulation : $R_c > 1$ MPa (1,5 à 2 pour des trafics lourds importants).
 - Insensibilité à l'eau : R_c immersion / $R_c 60 > 0,6$ ou 0,8 (selon VBS).
 - Non géllivité : $R_{tB} > 0,25$ MPa.
 - Caractéristiques mécaniques : « R_t / E » à 90 jours, au minimum classe 5

Études préalables - faisabilité

- Homogénéité du gisement des matériaux
 - Critères d'homogénéité :
 - e : étendue des mesures,
 - e_r : étendue relative : étendue des mesures / moyenne.
 - Nombre d'essais à réaliser en fonction du volume du gisement :
 - $V < \text{ou} = 10.000 \text{ m}^3$: au moins 9 identifications et 16 teneurs en eau,
 - $V > 10.000 \text{ m}^3$: 9V / 10.000 identifications – 16V / 10.000 teneurs en eau.
 - Valeurs caractérisant l'homogénéité :

	OPN	VBS ou Ip	< 0.08 mm	< 2 mm
COUCHE DE FORME	$e_r < \text{ou} = 10\%$			
ASSISES DE CHAUSSÉES (fonction du trafic)	$4\% < e_r < 6\%$ - H2 $e_r < \text{ou} = 4\%$ - H1	$e_r < \text{ou} = 40\%$ - H2 - H1	$e < \text{ou} = 8\%$ - H1 $8\% < e < 12\%$ - H2	$e < \text{ou} = 20\%$ - H1 $20\% < e < 30\%$ - H2

- Classification du gisement en fonction de son homogénéité

TRAFIC	≤ T4	T3	T2	T1
BASE	H2	H1		
FONDATION	H2	H2	H2	H1
COUCHE DE FORME	H2			

- Aptitude d'un sol au traitement (NF P 94-100)

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 ≤ 5	RtB ≥ 0,20
	DOUTEUX	5 < Gv ≤ 10	0,10 ≤ RtB < 0,20
	INAPTE	Gv > 10	< 0,10

Étude de formulation

- Paramètre de moulage des éprouvettes

	DIAMÈTRE (cm)	COMPACITÉ	ÉCHÉANCE Rc	ÉCHÉANCE Rt / E	VARIATION SUR W %	VARIATION SUR C %	VARIATION SUR DOSAGE
COUCHE DE FORME	5 – 10	96 et 98,5% OPN	7 – 28 – 60	28 – (60) – 90	0,9 et 1,10 W _{op}	94% OPN	0,9 x dosage de base
ASSISE DE CHAUSSÉES	5 – 10 – 16	97% OPM (sur sol A 98,5% OPN)	Idem	Idem	Idem	95 et 102% OPM	1,2 x dosage de base

- Exemple de Sable limoneux « B5 » – D = 20 mm - VBS = 0,48 – OPN = 2,07 à 10,7 %

COMPACITÉ	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)

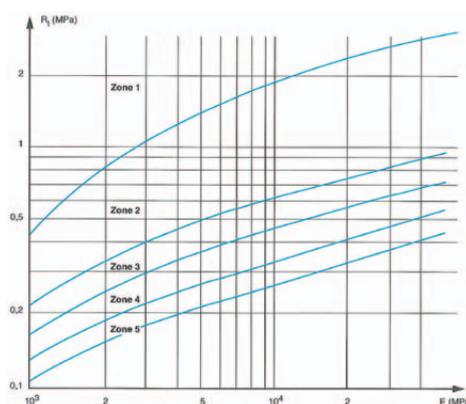
(Rt = 0,8 x RtB)

Absence d'étude de laboratoire - chantier de faible importance

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

Classes mécaniques – diagramme «rt/e»

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



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 d < 0,8 mm	PF 3 d < 0,6 mm	PF 4 d < 0,5 mm	PF 3	PF 4	

* Traitement en 2 couches

Dimensionnement des assises de chaussées

- Trafic :
 - Couches de fondations : ≤ TC5 (T1)
 - Couches de base : ≤ TC3 (T3)
- Classes mécaniques :
 - Sols T0 à T5
 - Diagramme « Rt / E » : normes NF EN 14 227-10 et 13
- Dimensionnement :
 - Paramètres : PF – trafic TC – classe T – AC (qualité du traitement)
 - Méthode : guide « Traitement des sols à la chaux et / ou aux liants hydrauliques - Application à la réalisation des assises de chaussées »
 - Déflexion (28 jours) : au moins < 50 / 100 mm

Caractéristiques mécaniques requises atteintes

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

Problèmes de prise rencontrés (chantiers GUINTOLI)

- Ils sont rares et se traduisent, quels que soient le LHR et le dosage, par :
 - Une faible résistance initiale
 - Une stagnation des résistances quels que soient le dosage et le délai
- Ils ont concerné des natures de matériaux assez précises :
 - Matériaux riches en micas,
 - Certaines arènes granitiques (MASSIF CENTRAL)
 - Certains schistes sédimentaires altérés (RENNES / ANGERS)
 - Argiles marneuses A2 (METZ / THIONVILLE).
- Les analyses chimiques n'ont rien révélé de particulier
- Les essais d'aptitude (NF P 94-100) conduisaient à «inaptitude» (RtB très faibles et parfois gonflement) **NB : il arrive que l'étude infirme le diagnostic de l'essai d'aptitude.**

Matériels de préparation

Dans le cas de matériaux granulaires, un « D » trop important vis-à-vis du malaxage et / ou du réglage (D > 100 mm environ), il faut soit :

- l'éliminer par tri ou criblage
- le réduire par concassage :
 - en place
 - installation mobile



Épandeur de liant

- **Système de dosage :**
 - Asservi
 - Dosage :
 - volumétrique,
 - volumétrique ajusté par dispositif pondéral.
 - Largeur d'épandage réglable.
- **Précision du dosage :**
 - Coefficient de variation longitudinal (et éventuellement transversal) :
 - $C_v = \text{écart-type} / \text{moyenne}$**
 - Exactitude : écart entre valeur moyenne épandue et valeur visée



VALEURS INDICATIVES	C_v	EXACTITUDE
Amélioration	< 20%	
Stabilisation (couche de forme)	< 10%	< 5%
Stabilisation (assise de chaussées)	< 10% ou < 5%	< 5%

Malaxeurs

VALEURS INDICATIVES	CHARRUE		PULVI-MIXER (ROTOR À ARBRE HORIZONTAL)	CENTRALE
	À DISQUES	À SOCS		
CARACTÉRISTIQUES	Faible épaisseur traitée	Forte épaisseur traitée	Finesse de la mouture	Précision des dosages - homogénéité
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	D < 50 mm IP < 12
TRAITEMENT	LHR ou Chaux		LHR ou Chaux	
DESTINATIONS	RO et pré-traitement		Remblai technique - Arase - CdF - assises	



Arroseuse

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



Niveaux pour assises de chaussées

- Critères recherchés :
 - H Homogénéité du mélange
 - E Epaisseur malaxée constante
 - P Puissance du moteur
 - I Bonne hydratation (w% homogène)
 - L Capacité d'injection liant + eau

CRITÈRES		3	2	1
H	Homogénéisation du matériau avec le ou les liants	Homogénéisation verticale et transversale (malaxeur associé)	Homogénéisation verticale uniquement	Homogénéisation limitée
E	Maîtrise de l'épaisseur traitée	Réglage et contrôle de l'épaisseur avec fonction supplémentaire de maintien à la profondeur	Réglage et contrôle de l'épaisseur	Réglage de l'épaisseur
P	Puissance sur rotor	P > 70kW	35 kW < P ≤ 70 kW	P ≤ 35 kW
I	Possibilité d'injecter l'eau dans la chambre de malaxage	Pompe à débit variable asservie à la translation et rampe de largeur variable	Pompe à débit variable asservie à la translation	Pas d'asservissement
L	Dosage du liant sous forme de suspension (eau + liant hydraulique)	Pompe à débit variable asservie à la translation ou au poids de matériau à traiter + débitmètre (eau) et pesée (liant)	Pompe à débit variable asservie à la translation ou au poids de matériau à traiter + compteur volumétrique	Pompe à débit variable non asservie

Qualité traitement AC1	Niveau 1 (2 pour Cv ou L et H)	25% d'abattement sur Rt et E
Qualité traitement AC2	Niveaux 3 ou 2 (1 pour V et centrale)	35% d'abattement sur Rt et E

Zone de traitement

	À L'EXTRACTION	SUR LE LIEU D'EMPLOI
	Chargement et transport du matériau traité	Approvisionnement du matériau non traité
OPÉRATIONS COMMUNES	- Réalisation d'un planche de convenance. - Réception altimétrique du support. - Réglage de la couche traitée par enlèvement de matériaux. - Respect du délai de maniabilité (épandage du liant / fin du compactage).	
AVANTAGES	- Épaisseur traitée uniquement fonction de la puissance du malaxeur.	- Peu d'opérations pendant le délai de maniabilité « traitement-compactage ».
INCONVÉNIENTS	- Risque de chargement de matériau non traité ou perte de matériau traité lors du chargement. - Nombreuses opérations pendant le délai de maniabilité : « traitement-chargement-transport-réglage-compactage ».	- Pré-réglage et pré-compactage de la couche de forme avant traitement. - Traitement en 1 couche limitée à 0,40 m (limite du compacteur). - Maîtrise de l'homogénéité du traitement sur la totalité de la couche à traiter.

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 / compactage : respecter le « délai de maniabilité du LHR » (délai entre la fin du malaxage et la fin du compactage).

Malaxage

- **Épaisseur 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 en couche de forme : D mm ≤ 20 à 40 mm
 - Pour une stabilisation en assise de chaussée : D mm ≤ 20 mm

Compactage

- Caractéristiques :
 - Couches de forme q_3
 - C% = 98,5 **OPN** (moyenne)
 - C% = 96% **OPN** (fond de couche)
 - Assise de chaussées q_2
 - 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

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

CONTRÔLES

Contrôles du traitement

- **Teneurs en eau :** gammadensimètre – poêle
 - Sur le matériau naturel,
 - Après chaque arrosage / malaxage.
- **Liants :**
 - Quantités épandues : bac (ou bêche) et bouclage journalier,
 - Réactivité de la chaux,
 - Prélèvements conservatoires.
- **Suivi du malaxage :**
 - Epaisseur,
 - Homogénéité.
- **Compactage :**
 - Q / S
 - Densité et teneur en eau en place : gammadensimètre
- **Réception :**
 - Topographique : altimétrie
 - Uni (APL) sur les assises de chaussées
 - Géotechnique : déflexions



Essai à la plaque



Potancemètre en continu



Dynaplaque



Défectographe



Gammadensimètre



CHAPITRE 4

RETRAITEMENT DES CHAUSSÉES EN PLACE À FROID AUX LIANTS HYDRAULIQUES

☰ CONTEXTE	34
☰ OBJECTIFS	35
☰ PROCÉDÉ	36
☰ CRITÈRES DE PERFORMANCES DES MATÉRIELS DE RETRAITEMENT	36
☰ ÉTUDES TECHNIQUES	38
☰ DIMENSIONNEMENT	39
☰ EXEMPLES DE CHANTIERS	43
☰ SEVE : SYSTÈME D'ÉVALUATION DES VARIANTES ENVIRONNEMENTALES (ÉCO-COMPARATEUR)	45
☰ EXEMPLE 2 (AISNE) : EMPLOI DE SEVE	45
☰ EXÉCUTION	47
☰ AVANTAGES DE LA TECHNIQUE	50
☰ BIBLIOGRAPHIE	50



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 → Réfection de la couche de roulement.
 - Dégradations structurelles → Renforcement épais ou reconstruction.
 Solution structurelle alternative : **retraitement en place aux Liants Hydrauliques.**

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.**

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. > Faiçonnage, 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.

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 sens N/S 2004.

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 CIMBETON.
- 4 Parties :
 - Présentation du guide.
 - Livret I – Liants hydrocarbonés.
 - Livret II – Liants hydrauliques.
 - Livret III – Liants composés.



OBJECTIFS

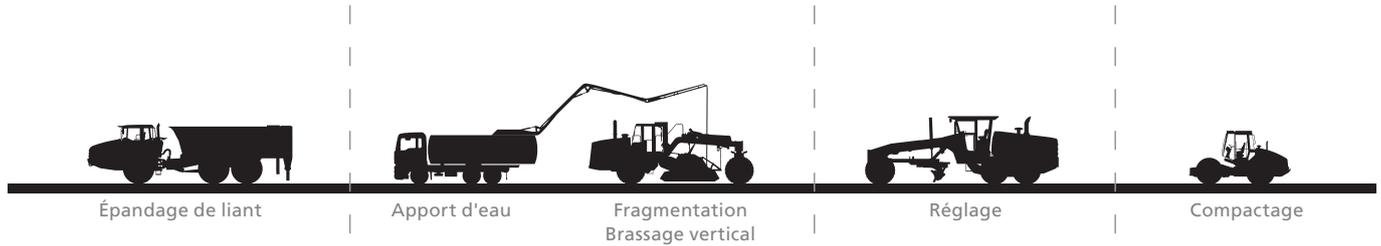


Patrimoniaux

- **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 (faiencage, affaissements de rives, déformations permanentes).

Environnementaux

- Démarche **volontariste** de protection de l'environnement et de maîtrise des ressources :
 - **Économie en granulat 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.**



- 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).
- Épandage du liant hydraulique et dosage : 3 à 6 %, humidification éventuelle.
- Retraitement par fraisage des anciennes couches, correction granulaire éventuelle et malaxage, profondeur de retraitement comprise entre 20 et 40 cm.
- Pré-compactage, pré-fissuration (éventuelle), réglage et compactage définitif.
- Enduit de cure pré-gravillonné (éviter la dessiccation et pouvoir être circulaire).
- Couche de roulement en fonction de la classe du trafic :
 - $\leq T_3$ (150PL/j) : ESU ou ECF.
 - $> T_3$ (150 PL/j) : 4 à 6 cm de Béton Bitumineux.

CRITÈRES DE PERFORMANCE DES MATÉRIELS DE RETRAITEMENT

Pourquoi des critères de performances ?

- Le retraitement se fait en place avec des matériaux du site, donc de qualité variable.
On parlera plus loin des qualités M1 et M2 des matériaux.
- 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).
On parlera plus loin des niveaux de qualité de retraitement R1 et R2.
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.

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			
	T			
	V		seulement si H=3	

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

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

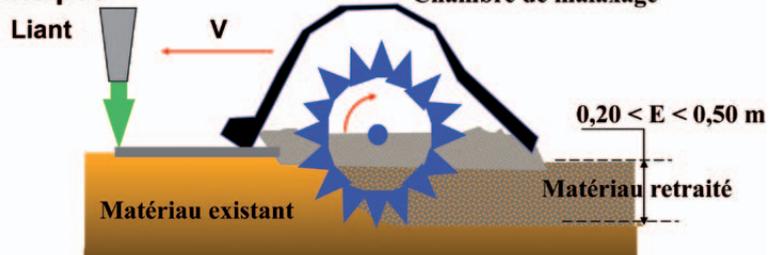
CAS DE CHANTIER		QUALITÉ	
FONCTION DE LA COUCHE RETRAITÉE	CLASSE DE TRAFIC	DE RETRAITEMENT	DE COMPACTAGE
Liaison ou base	$T > T3$	R1	q_1
Liaison ou base	$T \leq T3$	R1	q_2 (admise)
		R2 (admise)	q_1
Fondation	Tous trafic	R1	q_2
		R2 (admise)	

Exemples de matériels

- Comportant une fraise faisant office de malaxeur :
 - Malaxage uniquement vertical
 - Exemple : RACO 350, CATERPILLAR S_M 350, WR 2500 SK (HEPIL : 22333 au mieux)

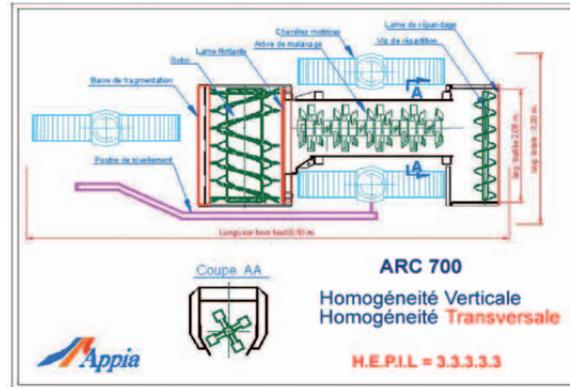


Principes



Le matériau de l'ancienne chaussée est mélangé au liant puis compacté.

- Comportant une fraise + malaxeur longitudinal séparés :
 - Malaxage vertical et dans le profil en travers (machine multifonction).
 - Exemples :
 - Arc dosage et Arc 700 (LTV : 332, HEPIL : 33333).
 - Wirtgen WR 4200 (HEPIL : 33333).



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).

Caractérisation des matériaux prélevés en place

- Nature des matériaux (GNT, GTLH, matériaux bitumineux).
- Granulométrie (D_{max}).
- Propreté : VB_5 .
- Teneur éventuelle en matières organiques (sulfates, sulfures, nitrates...) qui pourraient perturber la prise hydraulique (gonflements, absence de prise).

Faisabilité de la technique

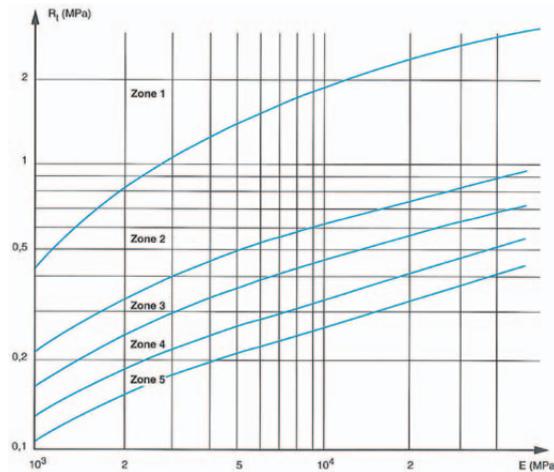
- Granularité des matériaux : $D_{max} = 63$ mm (aucun élément supérieur à 80 mm, sinon écrêtage ou concassage).
- Propreté : $VB_5 \leq 0,8$ g (pré-traitement à la chaux si $VB_5 > 0,8$ g).
- Épaisseur de matériaux à retraiter suffisante (compatible avec le procédé et le dimensionnement), sinon apport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

Étude de formulation : (systématique pour des trafics élevés $> T_3$)

- Analyse granulométrique et homogénéité des matériaux à retraiter.
- Choix du liant hydraulique et du dosage (plutôt 6% que 4%).
- Étude du délai de maniabilité.
- Étude des performances mécaniques (R_t et E , pris en compte à 360 jours) :
 - Essai Brésilien pour des mélanges allant jusqu'à 20% de matériaux bitumineux ($R_t = 0,8 R_{tb}$).
 - 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

Coûts des études techniques

Si trafic > T_3 , les délais et les coûts du retraitement et des techniques classiques sont donnés dans le tableau suivant :

TYPES DE MATÉRIAUX	ÉTUDES DE FORMULATION	DURÉES	COÛTS (EUROS)
GB ou EME	Niveau 4 Module Fatigue	2 mois	11 000
GTLH	Niveau 3 Module	2 à 3 mois	5 000
Matériaux retraités	Reconnaissance des matériaux Niveau 3 Module	1 mois + 2 mois	1 000 + 5 000

DIMENSIONNEMENT

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,
 - Le guide de retraitement envisage 2 cas :
 - EV2 ≥ 50 MPa : se référer aux tableaux de dimensionnement du guide de retraitement.
 - EV2 < 50 MPa : faire une étude de modélisation par le logiciel ALIZE III
- Les caractéristiques des matériaux retraités :
 - Il s'agit d'identifier la contrainte à 1 million de cycles σ_6 et le module d'élasticité E_{360} . Deux cas se présentent :
 - Le trafic T > T3 : les valeurs sont déterminées à partir de l'étude de formulation vue précédemment en utilisant les formules :

$$\sigma_6 = 0,7 \cdot R_{t360}$$

$$E = 0,9 \cdot E_{360}$$

- Le trafic T ≤ T3 : les valeurs sont 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 ($VB_s \leq 0,8$).

Si une des 2 conditions est non satisfaite : M2.

- Modélisation de la nouvelle structure :
 - On modélise la nouvelle structure en donnant à chaque couche un module et une épaisseur. On introduit ces valeurs dans le logiciel ALIZE III qui fournira soit une contrainte (à la base du matériau retraité), soit une déformation (à la base de la couche bitumineuse).
 - On vérifie que cette contrainte et cette déformation sont inférieures aux valeurs admissibles de ces matériaux respectifs.
 - Dans le cas contraire, on reprend la modélisation en augmentant les épaisseurs des couches.

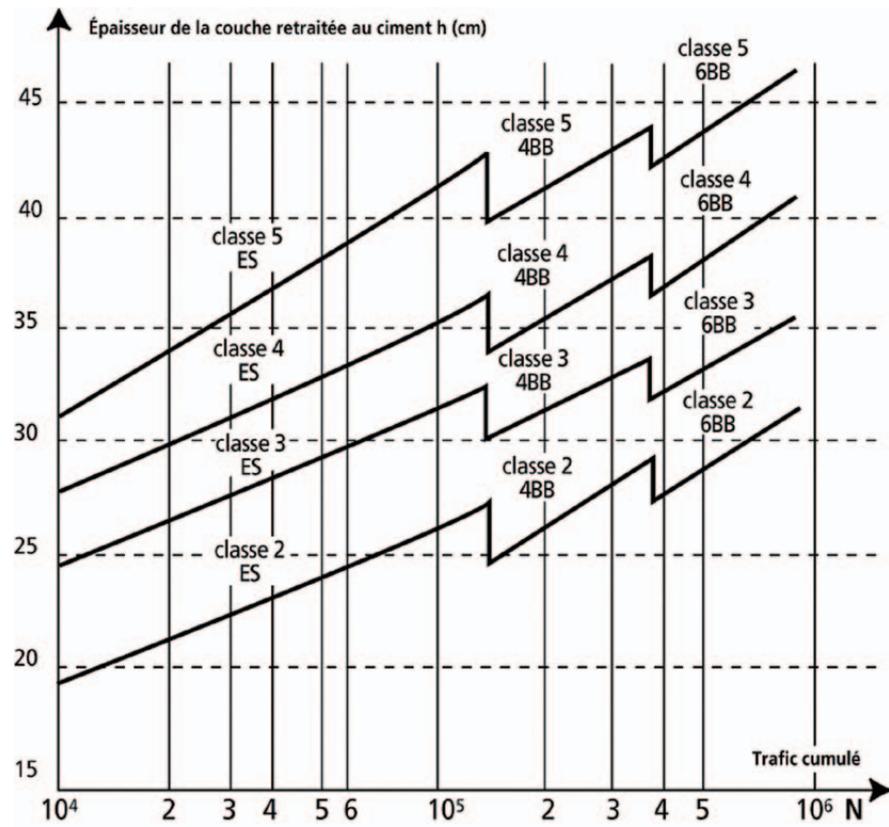
→ Détermination de l'épaisseur de la structure retraitée
 Extrait du «Guide Technique Retraitement en place des anciennes chaussées – SETRA/LCPC – 2003 »

Fiche : R1 M1			
Hypothèses : E = 20000 ; $\sigma_6 = 0,7$; $S_N = 1$; $Sh = 3$; $-1/b = 16$; $K_c = 1,6$; $r = 12,5\%$ 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 ; $\sigma_6 = 0,55$; $S_N = 1,5$; $Sh = 3$; $-1/b = 16$; $K_c = 1,6$; $r = 12,5\%$ 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 ; $\sigma_6 = 0,55$; $S_N = 1,5$; $Sh = 5$; $-1/b = 16$; $K_c = 1,6$; $r = 12,5\%$ 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

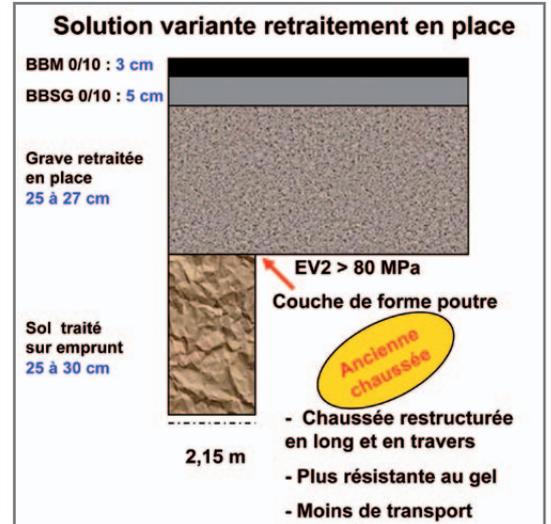
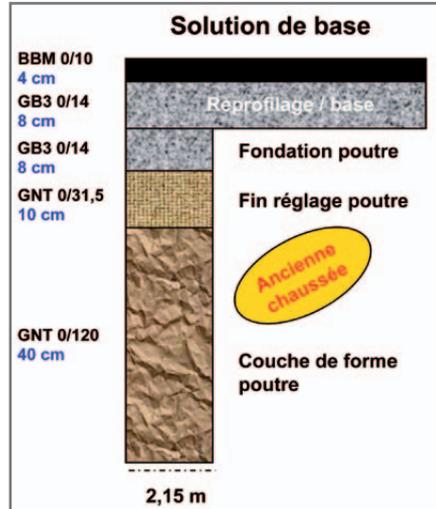
→ Abaque de dimensionnement



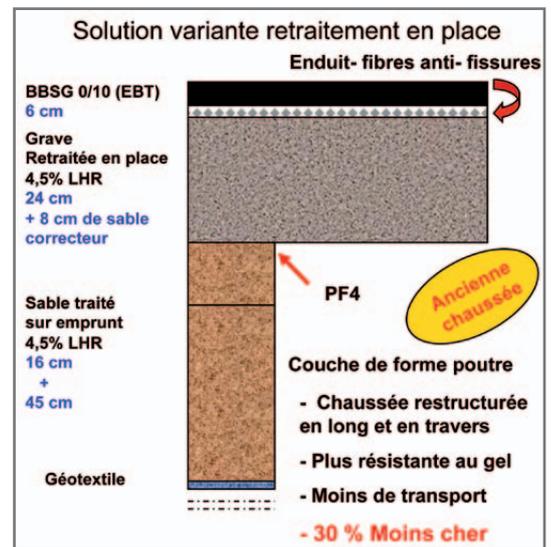
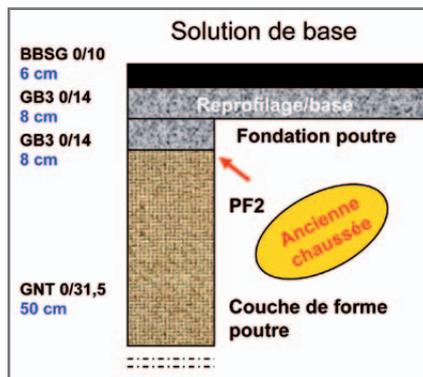
• Dimensionnement au gel/dégel :

- Le dimensionnement au gel/dégel se fait en appliquant la méthode définie dans le guide de dimensionnement SETRA/ LCPC 1994,
- Cette méthode prend en compte la sensibilité au gel du sol, la protection thermique apportée par les matériaux retraités et par les couches de chaussée restantes,
- La vérification au gel/dégel se fait à l'aide du logiciel GEL 3D.

Exemple 1 – Calvados – RD.
 Trafic : 170 pl/j/sens (T_3 ou $TC_{3,20}$) – PF2.



Exemple 2 – Aisne – RD.
 Trafic : 200 pl/j/sens (T_2 ou $TC_{4,20}$) – PF2.



• Bilan comparatif des émissions de GES (Kg/t)

MATÉRIAUX ET TECHNIQUES	SOLUTION DE BASE		SOLUTION VARIANTE
ENROBÉS	BBSG 2300 t à 54 kg/t GB 5795 t à 47 kg/t	396 t GES	BBSG type EBT 2300 t à 43kg/t 99 t GES
RETRAIEMENT EN PLACE			Matériaux retraités en place 7788 t à 14 kg/t 109 t GES
GNT	GNT 8533 t Élaboration et mise en œuvre 10kg/t 86 t GES Transport 1,56 kg/km (240 km A/R) 128 t GES		
APPORT SABLE CORRECTEUR			Sable 4275 t à 15 kg/t 64 t GES
SABLE TRAITÉ			Sable traité 7595 t à 14 kg/t 106 t GES Transport 1,56 kg/km (20km A/R) 6 t GES
TOTAUX (T) GES	610 t		384 t

• Bilan comparatif des consommations en énergie

MATÉRIAUX ET TECHNIQUES	SOLUTION DE BASE		SOLUTION VARIANTE
ENROBÉS	BBSG 2300 t à 680 MJ/t GB 5795 t à 591 MJ/t	4,98 x 10⁶ MJ	BBSG type EBT 2300 t à 654 MJ/t 1,5 x 10⁶ MJ
RETRAIEMENT EN PLACE			Matériaux retraités en place 7788 t à 81 MJ/t 0,63 x 10⁶ MJ
GNT	GNT 8533 t Elaboration et mise en œuvre 75 MJ/t 0,64 x 10⁶ MJ Transport 1,56 kg/km (240 km A/R) 33000 l carburant		
APPORT SABLE CORRECTEUR			Sable 4275 t à 113 MJ/t 0,48 x 10⁶ MJ
SABLE TRAITÉ			Sable traité 7595 t à 75 MJ/t 0,57 x 10⁶ MJ Transport 40 l carburant / 100 km (20 km A/R) 2430 l carburant
TOTAUX	5,62 x 10⁶ MJ, 33000 l carburant		3,18 x 10⁶ MJ, 2430 l carburant

• Économie en granulats naturels

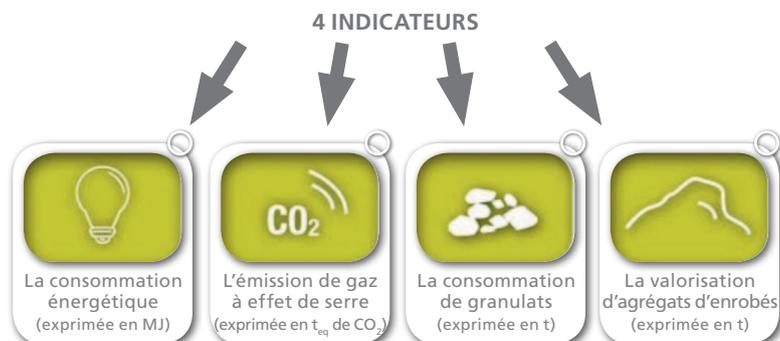
MATÉRIAUX ET TECHNIQUES	SOLUTION DE BASE	SOLUTION VARIANTE
ENROBÉS	BBSG + GB : 8 095 t	BBSG type EBT : 2 300 t
RETRAIEMENT EN PLACE		0 t
GNT	GNT : 8 533 t	0 t
APPORT SABLE CORRECTEUR		Sable : 4 275 t
SABLE TRAITÉ		Sable traité : 7 595 t
TOTAL CONSOMMÉ EN MATÉRIAUX « NEUF »	16 728 t	14 170 t

• Conclusions : Avantages / solution de base

- environnementaux :
 - 37% de moins de GES (soit 226 tonnes de CO₂ non rejeté dans l'atmosphère).
 - 11 870 tonnes de sable local, évitant l'apport de matériaux nobles éloignés.
- Économiques :
 - 43% de moins d'énergie et **92% de moins de carburant pour le poste transport.**
 - 2 558 tonnes d'économie de granulats naturels.
 - Coût global du chantier : **-30% vs solution de base.**
- Structurels :
 - Restructuration complète de la chaussée dans son profil en long et en travers.
 - Meilleure résistance au gel/dégel.

SEVE : SYSTÈME D'ÉVALUATION DES VARIANTES ENVIRONNEMENTALES (ÉCO-COMPARATEUR)

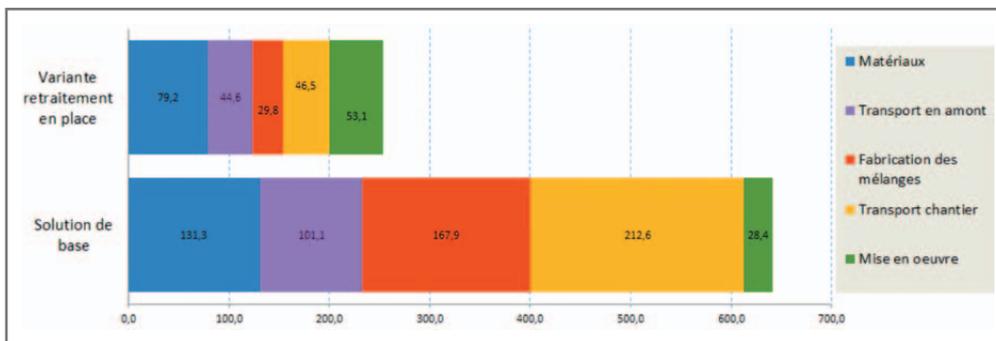
- Basé sur le cycle de vie d'un projet routier
- Accessible sur le Web (www.seve-tp.com)
- D'utilisation rapide (30 mn)
- Intégration des « données spécifiques » aux entreprises



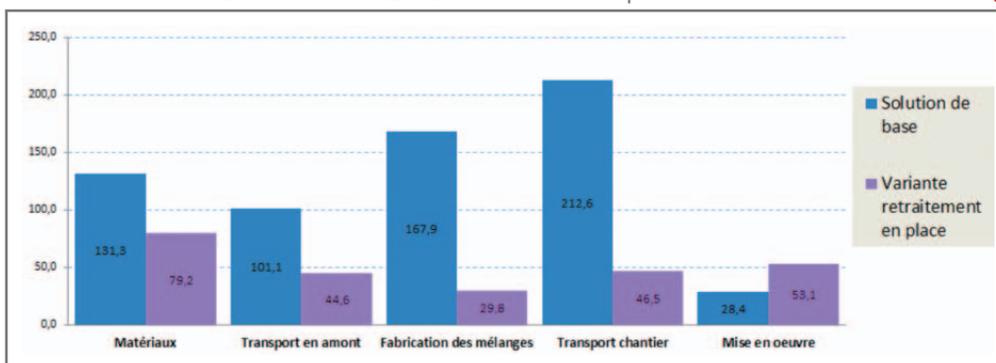
EXEMPLE 2 (AISNE) : EMPLOI DE SEVE

Bilan des émissions de GES

- Émissions totales de Gaz à Effet de Serre comparées



- Émissions de Gaz à Effet de Serre comparées

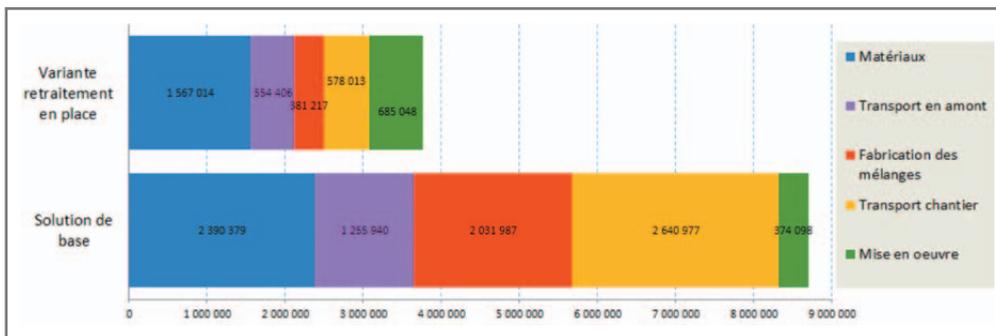


ÉCART ENTRE SOLUTIONS = -60,5%

pour mémoire : -37%

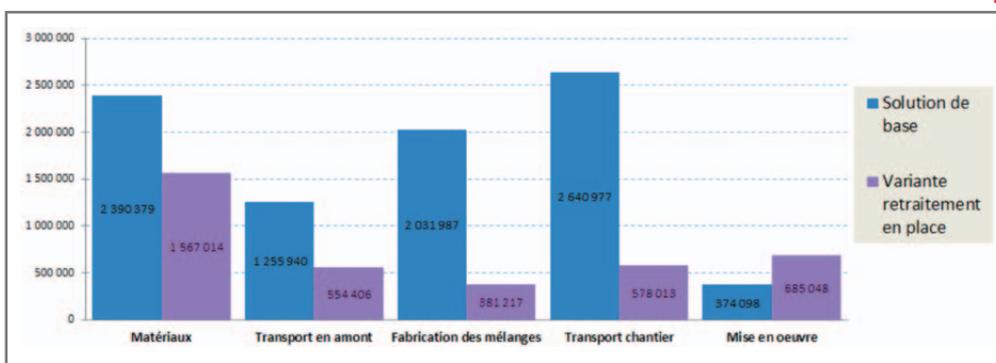
Consommations en énergie

• Consommations totales comparées en énergie procédé



ÉCART ENTRE SOLUTIONS = -56,7%

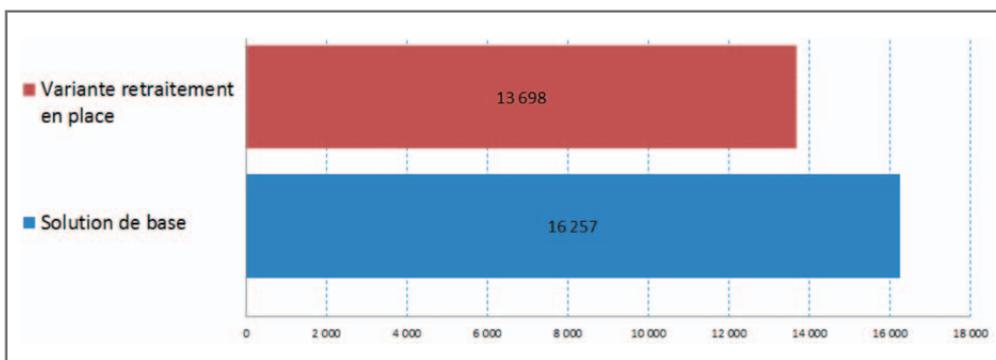
• Consommations comparées en énergie procédé



pour mémoire : -43%

Consommations en granulats

• Consommations totales de granulats naturels comparées



ÉCART ENTRE SOLUTIONS = -15,7%

pour mémoire : -15%

- 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



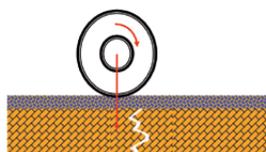
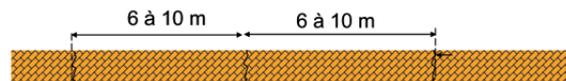
Atelier de reconditionnement



Protection



- Fissuration :



Retrait du matériau hydraulique -
Fissure -
Risque de remontée des fissures en surface -
Nécessité d'un système de pré-fissuration.

- **Pré-fissuration** Elle doit être réalisée durant l'exécution, avant l'opération de compactage final.



Joint actif : Profilé placé dans le matériau frais.



Joint de rupture : feuille de polyéthylène, émulsion, ..



Compactage



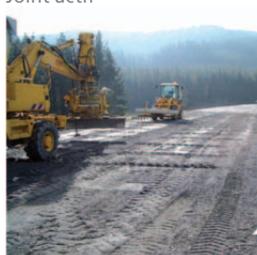
Machine Olivia



Machine Craft



Joint actif



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,
 - Déflexion,
 - Uni de surface,
 - Largeur du retraitement.



Gestion des contraintes d'exécution : la réalité du terrain

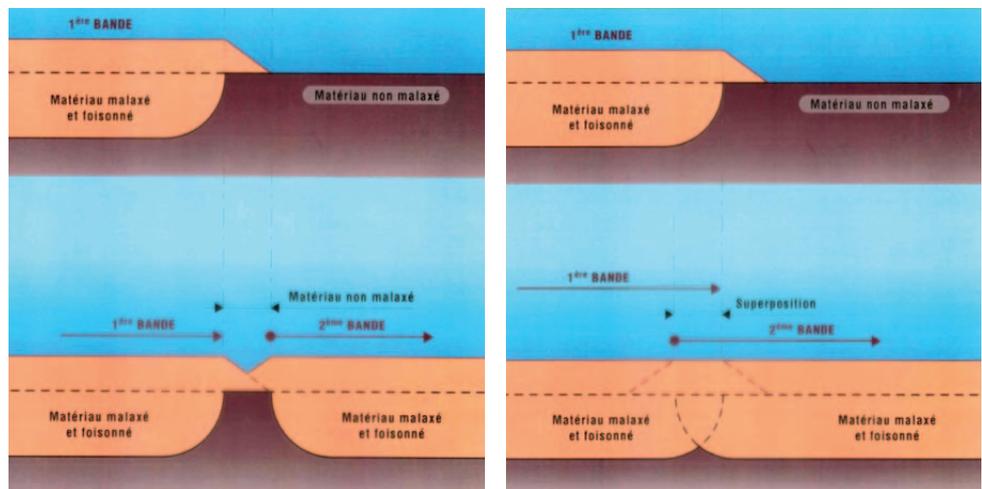
- Des chaussées à retraiter parfois hétérogènes :
 - Plusieurs types de matériaux rencontrés.
 - Nature pétrographique, propreté...
 - Choix d'un liant adapté (ex : matériau crayeux = liant spécial craie)



- Beaucoup d'anciennes chaussées de type empierrement ... conduisant à $D > 80$ mm.
- Nécessité d'une préparation granulométrique des matériaux.
- 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-compactage : 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.



- 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



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
- Sécurité accrue (pas de décaissement)

Sur le plan patrimonial

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

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

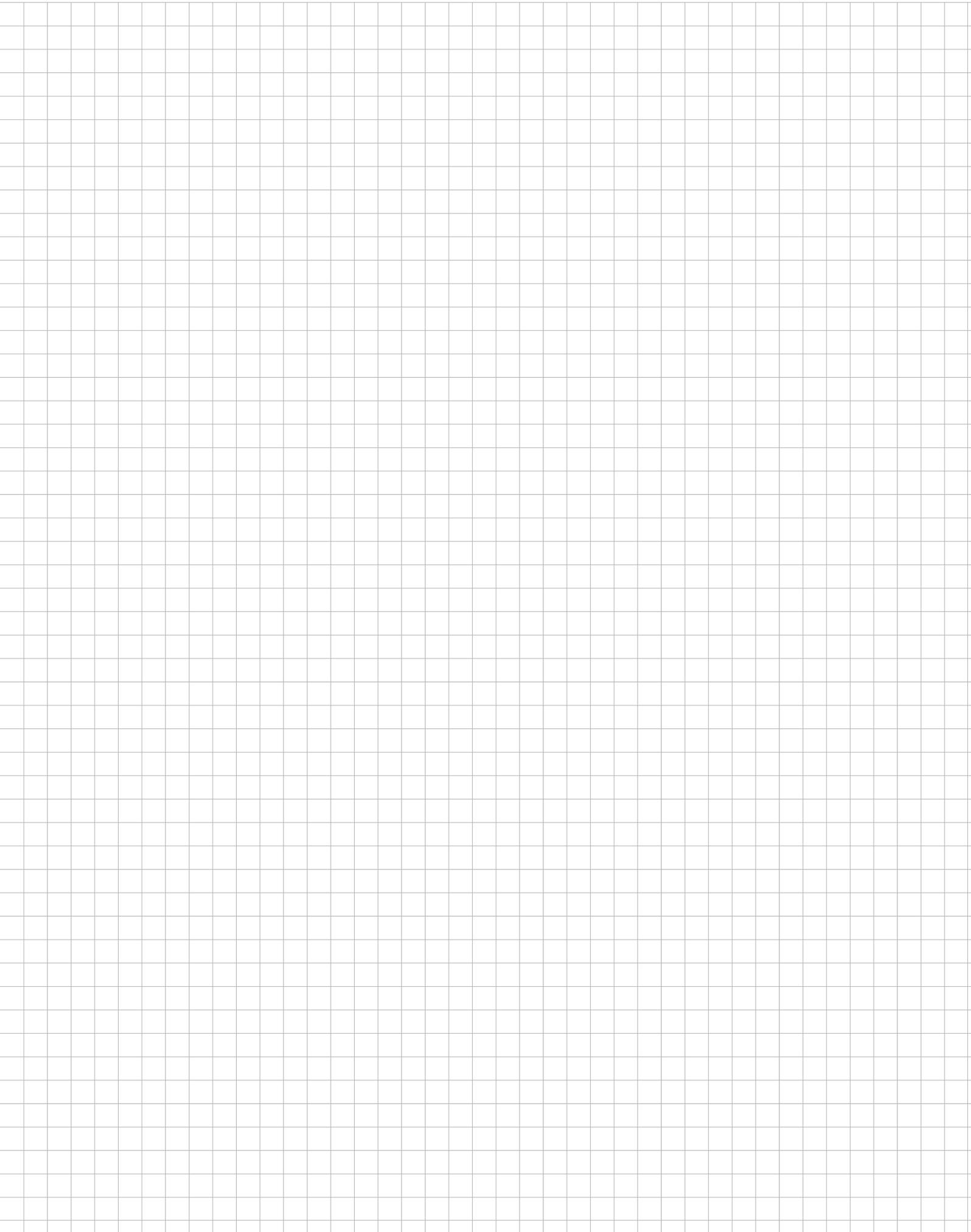


Guide Technique
Retraitement en place
des anciennes chaussées
SETRA/LCPC, 2003.



T 58 et C 58 •
Retraitement en place à froid
des anciennes chaussées
aux liants hydrauliques
CCTP-Type, CIMBETON, 2008.

NOTES





CHAPITRE 5

VALORISATION DES MATÉRIAUX EN PLACE ÉVOLUTION DU MATÉRIEL

≡ INTRODUCTION	54
≡ VALORISATION DES MATÉRIAUX EN PLACE	54
≡ L'APPROVISIONNEMENT DU LIANT	54
≡ L'ÉPANDAGE	55
≡ LE MALAXAGE	57
≡ VALORISATION DES MATÉRIAUX EN ASSISES	58
≡ LE NIVELAGE	59
≡ LE COMPACTAGE	60
≡ CONCLUSION	61
≡ BIBLIOGRAPHIE	61



INTRODUCTION

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

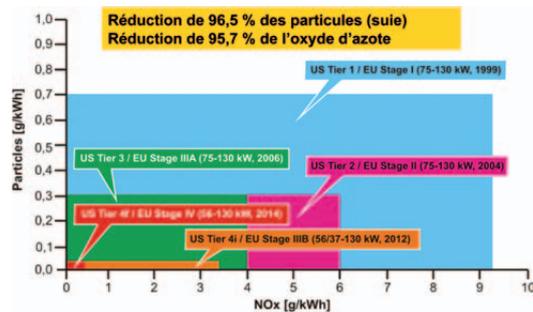
- Procédés
 - Matériel
- L'un ne peut aller sans l'autre.

L'évolution des matériels a 3 fondements principaux :

- Besoins des chantiers
- Disponibilité de nouvelles technologies
- Réglementation machines en particulier sécurité et réduction des émissions de polluants

Réduction des émissions de polluants

Évolution de la réglementation européenne et américaine

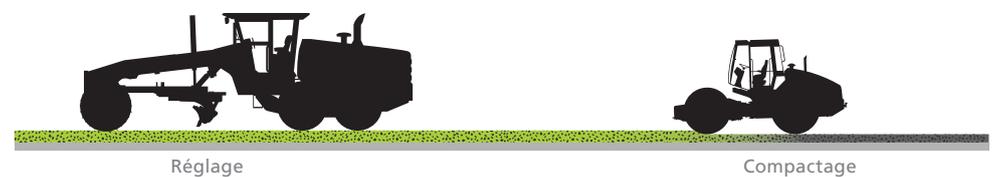


VALORISATION DES MATÉRIAUX EN PLACE

Les opérations



Compactage avant arrosage !



L'APPROVISIONNEMENT DU LIANT

Le matériel

- Il permet un approvisionnement rapide et en quantité appropriée avec les besoins pour l'épandage.
 - Sacs
 - Vrac pour emploi immédiat ou stockage en silos

En 1970, des sacs...



...10 ans plus tard, du vrac



Capacité des citernes

- En 1980 : 24 t
- Aujourd'hui : 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 des et capacités des épandeurs

Plusieurs capacités : De 2 à 3 m³

Tracté



Porté



Capacité de 10 à 18 m³

Sur camion



Sur camion chantier pneus large pour sol faiblement porteur

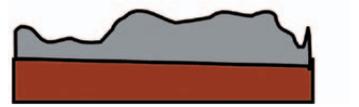


Dédié

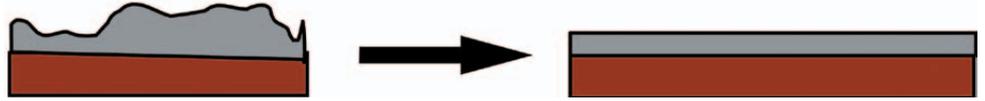


Évolution des épandeurs

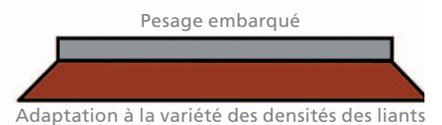
- Jusqu'au milieu des années 80
→ Débit volumétrique du liant non asservi à la vitesse de l'épandeur



- 1^{ère} évolution 1985 / 90
→ Débit volumétrique du liant asservi avec la vitesse de l'épandeur
Avantage : Répartition homogène quelle que soit la vitesse



- 2^{ème} évolution 1990 / 95
→ Débit volumétrique ajusté par un contrôle pondéral, asservi à la vitesse de l'épandeur



- 3^{ème} évolution 1990 / 95
→ La largeur d'épandage variable (casiers)
Avantages : gain de temps et éviter les surépaisseurs dans les zones de chevauchement



- 4^{ème} évolution 1995 / 2000
→ Amélioration de la Précision du dosage longitudinal et transversal

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



- 5^{ème} évolution 2004/2006
→ Réduction des poussières :
– émissions lors de l'approvisionnement du liant dans l'épandeur (système autonome)
– En cours d'épandage (système intégré – jupe, brumisation)



- 6^{ème} évolution 2005/2007
Automatisation du nettoyage du rotor alvéolaire
Avantage : garantie pour la précision d'épandage

Grâce à ces évolutions 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 matériel de malaxage

- Ce matériel est connu sous les noms : malaxeur, pulvimixeur, pulvérisateur ou stabilisatrice en place
- Il permet de :
 - décohésionner 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)



Évolution du matériel de malaxage

- **1970 à 1985** - Utilisation de matériel agricole
 - Rotors horizontaux ou verticaux
 - Profondeur 20 à 25 cm – Mouture et répartition grossière

- **Depuis 1985** - Utilisation de matériel de TP
Rotor horizontal – mouture fine – bonne homogénéité
→ Soit tracté : profondeur 20 à 35 cm Soit automoteur : profondeur 30 à 50 cm



- **Depuis 1980** - Utilisation de matériel de reconditionnement de chaussées
→ Profondeur 40cm - 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.

≡ VALORISATION DES MATÉRIAUX EN ASSISES



Le traitement des matériaux en centrale

2 ou 3 opérations en 1: **Criblage (concassage) + Dosage + Malaxage**

- Traitement des matériaux avec un dosage précis des liants hydrauliques et de la teneur en eau
- Bonne homogénéité du matériau
- Optimisation (épaisseur ou dosage) par rapport à la valorisation par traitement en place



Valorisation des stériles de carrières

- Trémie de stockage des matériaux (y compris les matériaux traités à la chaux)
- Système d'extraction
- Dosage d'un LHR adapté asservi à la quantité de matériaux traités
- Mélangeur capable d'accepter des matériaux jusqu'à 150mm
NB : Une ou plusieurs opérations de concassage criblage permet d'avoir des granulométries de 0/25 à 0/31,5 mm.
Idem pour la valorisation des déblais de terrassement
Importance du dialogue constructeur utilisateur pour le choix du matériel (mélangeur)

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'ouvrage

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



Les compacteurs

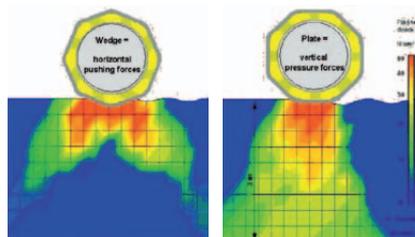
- Matériel incontournable, les compacteurs sont de divers types
- Principales évolutions des dernières années :
 - amélioration de la visibilité,
 - amélioration du compactage (puissance et forme de la bille ...),
 - guidage des engins, mesure et enregistrement des données.



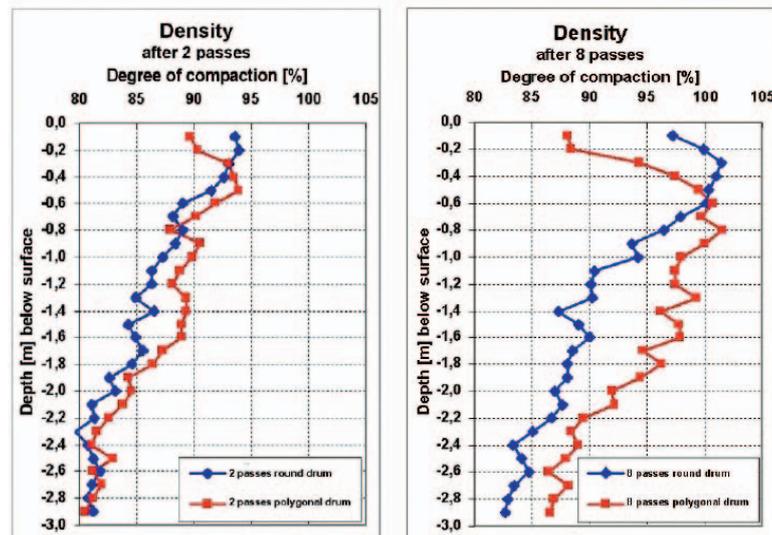
Amélioration du compactage : bille polygonale



Mode de fonctionnement de la bille polygonale



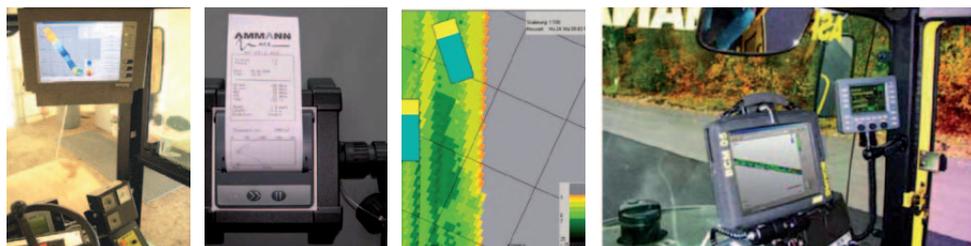
Comparaison bille ronde/bille polygonale



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

La traçabilité absolue du compactage !



CONCLUSION

Le matériel :

- a considérablement évolué dans les 20 dernières années et continue d'évoluer,
- s'adapte en permanence aux besoins des chantiers,
- a son évolution propre en terme d'ergonomie, de sécurité, et de protection de l'environnement.

Soyons ensemble pour poursuivre cette évolution.

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 6

VALORISATION DES MATÉRIAUX EN PLACE ASPECTS ÉCONOMIQUES

≡ LES ASPECTS ÉCONOMIQUES	64
≡ COMPARAISONS COUCHE DE FORME TRAITÉE/NON TRAITÉE	64
≡ COMPARAISONS ÉCONOMIQUE TRAITEMENT DU SOL VS RECOURS AUX EMPRUNTS	66
≡ COMPARAISONS ÉCONOMIQUE RETRAITEMENT VS RENFORCEMENT GB	67
≡ BIBLIOGRAPHIE	67



LES ASPECTS ÉCONOMIQUES

La nécessité d'une étude économique

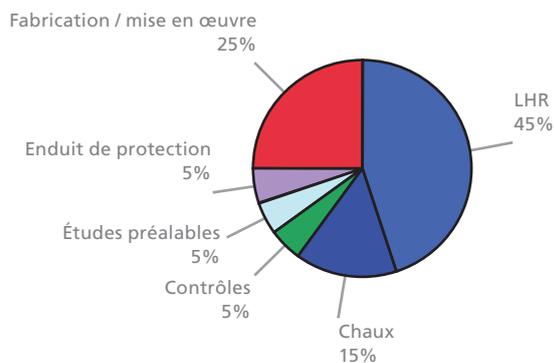
La décision de recourir à la valorisation en place des sols ou des graves doit être justifiée par une étude économique prenant en compte un maximum d'aspects et notamment, ceux induits par les contraintes de protection de l'environnement.

La méthodologie d'une étude économique

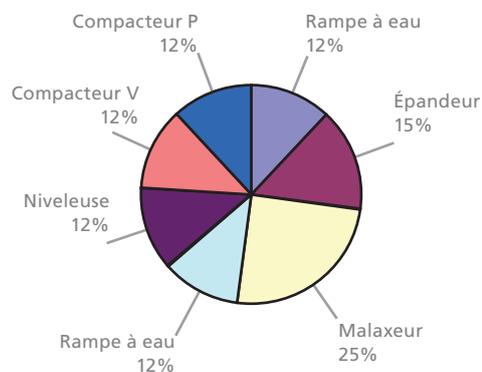
L'étude économique consiste à comparer l'estimation du coût de la solution valorisation à celui de solutions alternatives traditionnelles. Cette comparaison doit notamment se faire à partir d'une analyse affinée des différentes composantes du coût (direct et indirect) de chaque solution.

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



COMPARAISONS COUCHE DE FORME TRAITÉE/NON TRAITÉE

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	Épaisseur 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	Épaisseur 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

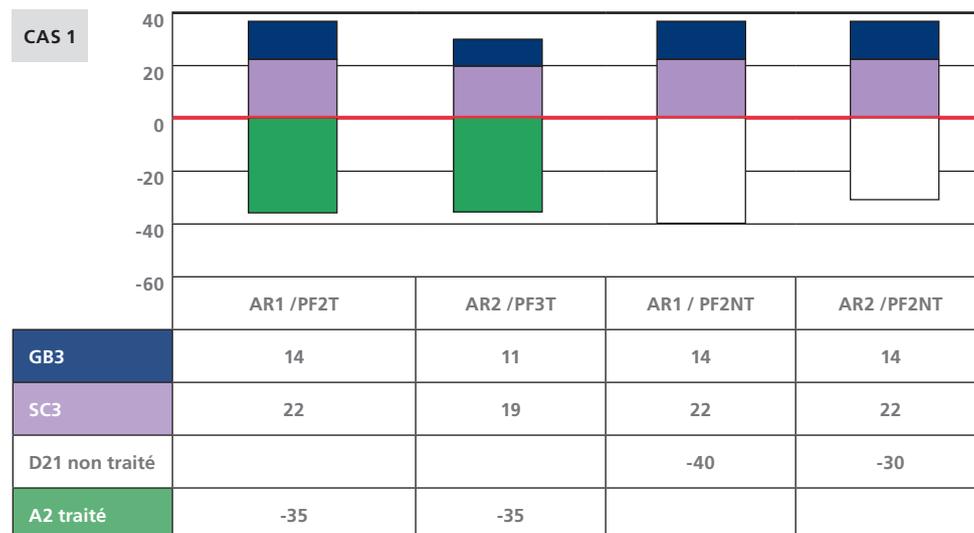
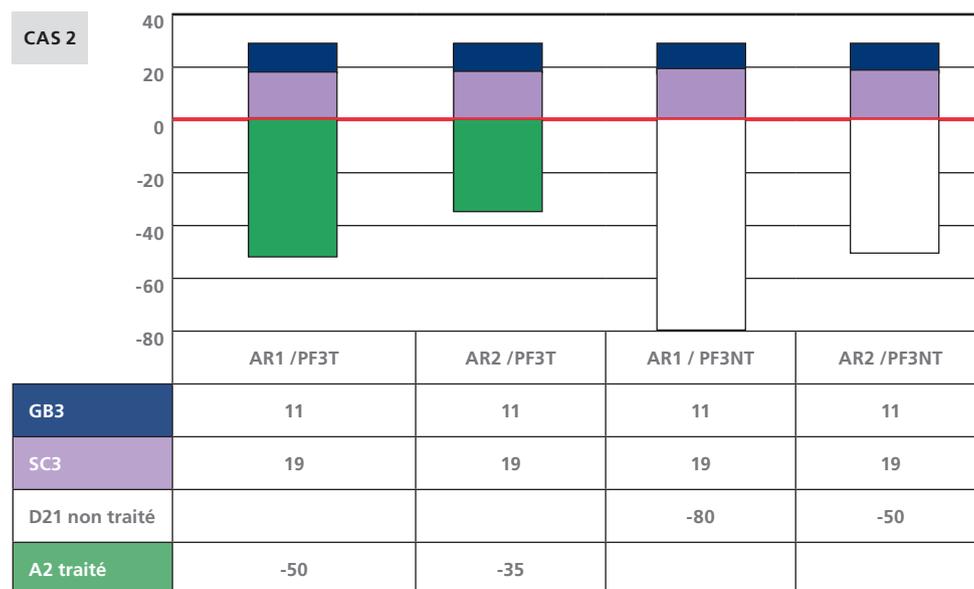


Plate-formes optimisées PF3



Bilan

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

Systematiser 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

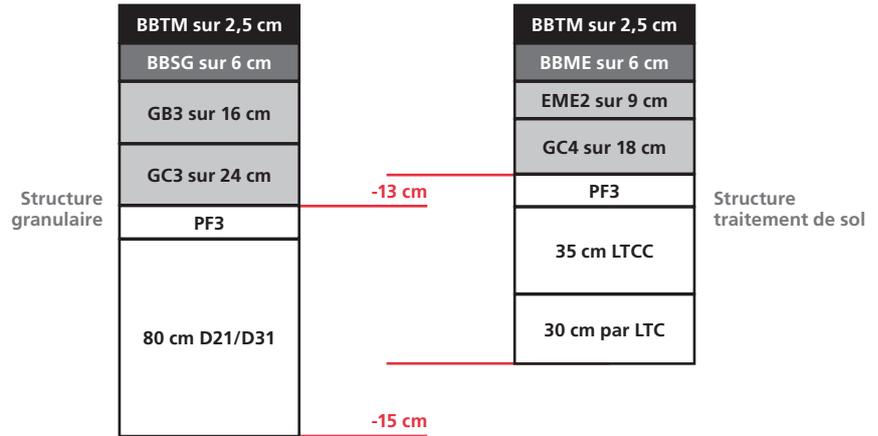
Ecart en AR1/PF3 : 23 € x (0,80 - 0,50) = 6,90 €/m²

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

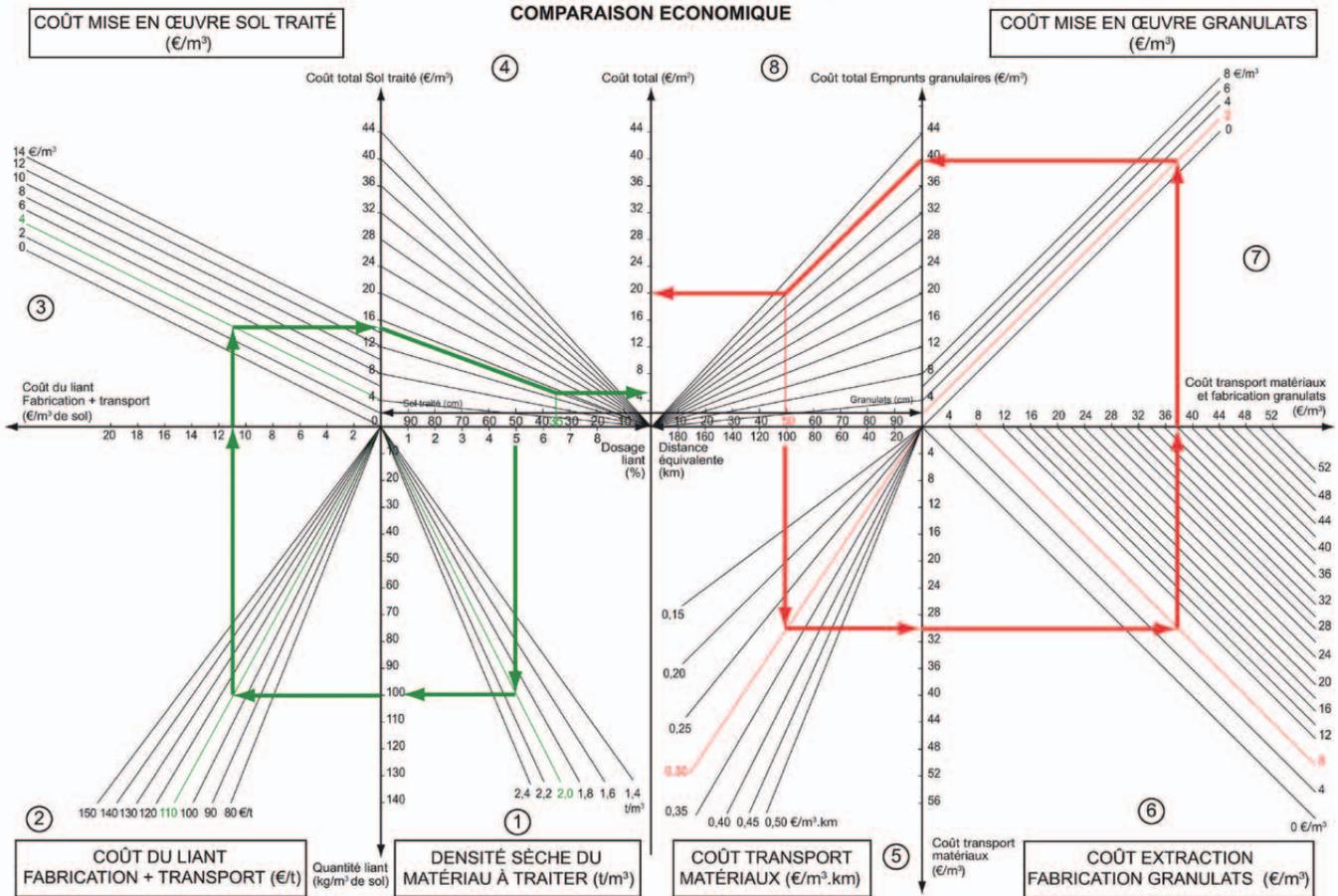


COMPARAISONS ÉCONOMIQUE TRAITEMENT DU SOL VS RECOURS AUX EMPRUNTS

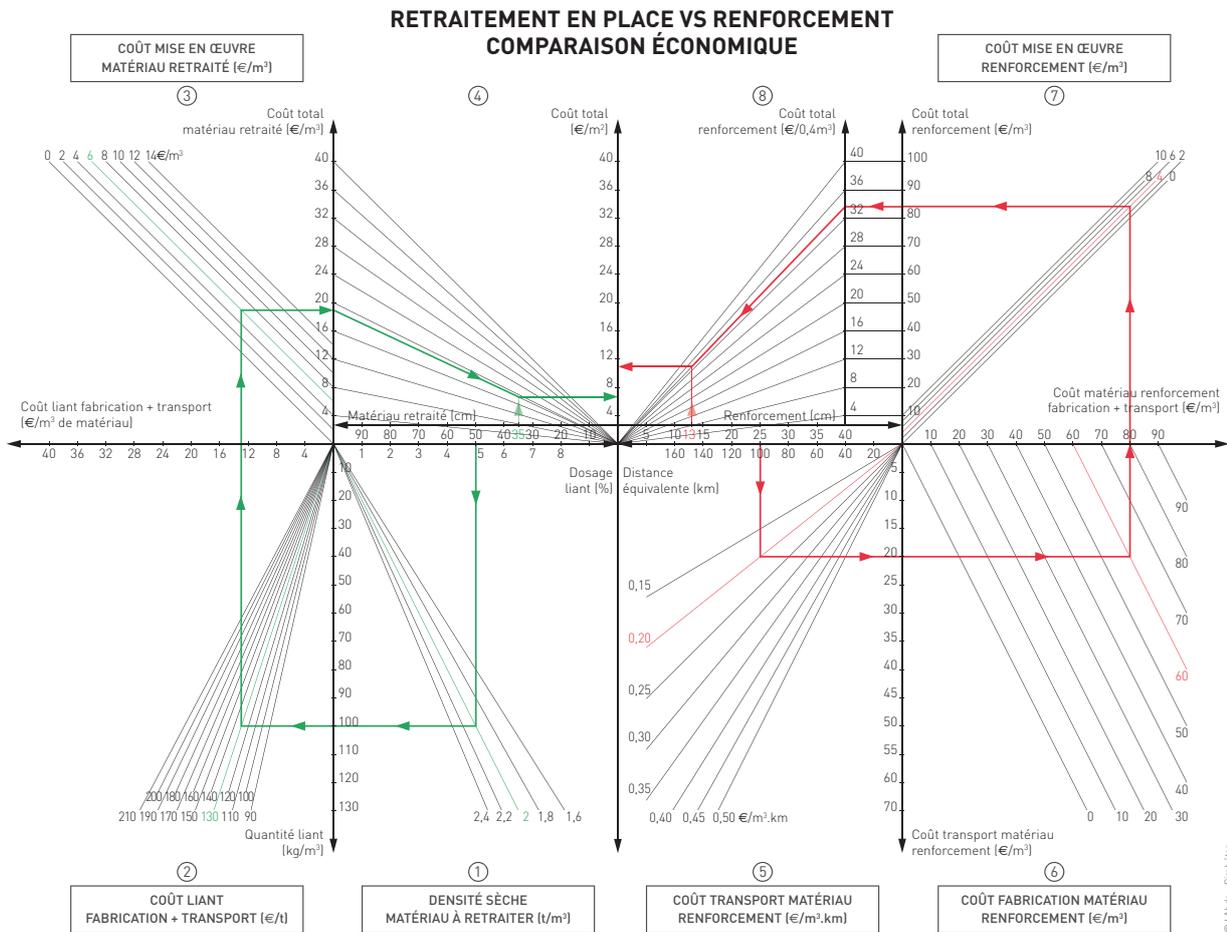
Cas des PST et couches de forme

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



BIBLIOGRAPHIE



Guide Technique
Réalizations 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 assises
de chaussées
SETRA / LCPC, 2007.



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.



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



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



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

CHAPITRE 7

VALORISATION DES MATÉRIAUX EN PLACE CONTRIBUTION AU DÉVELOPPEMENT DURABLE

≡ LES SOLUTIONS CIMENT/LHR POUR LA CONTRIBUTION AU DÉVELOPPEMENT DURABLE	70
≡ LES ANALYSES DE CYCLE DE VIE ACV	71
≡ BIBLIOGRAPHIE	76



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, projecteurs, 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).

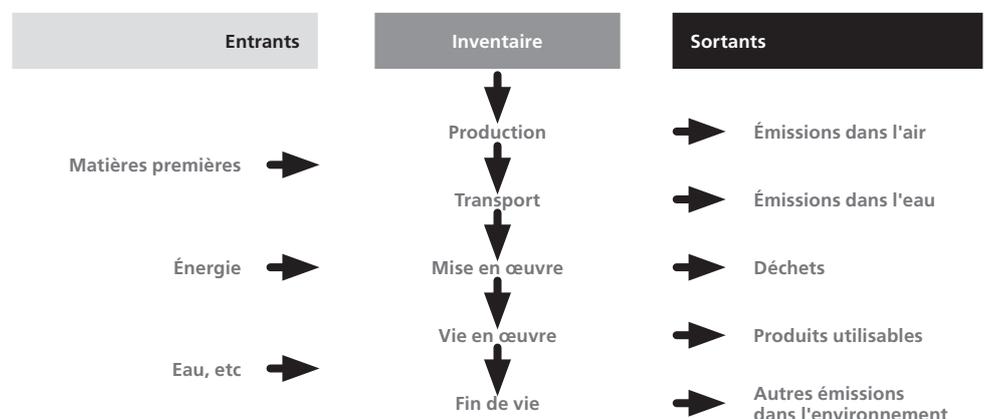
La méthodologie de l'ACV est décomposée en 4 étapes :

- 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.

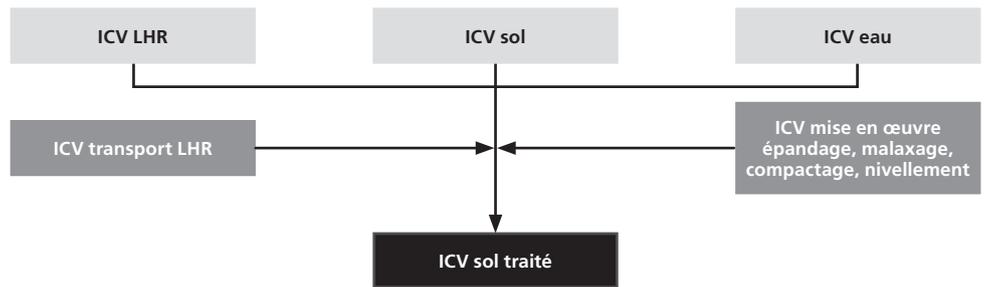
Ces flux sont ensuite regroupés et pondérés pour calculer les 10 impacts environnementaux cités dans la norme NF P 01-010.



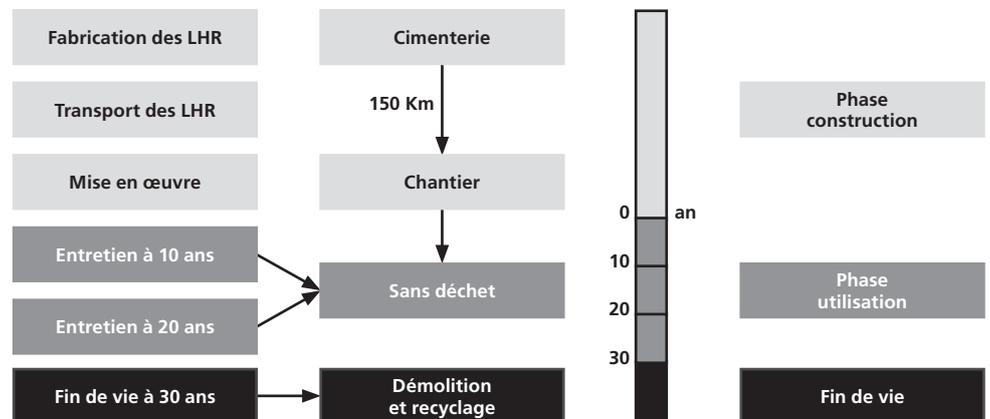
Les données d'inventaires (ICV) sont quantitatives et présentées sous forme de tableaux regroupés en plusieurs grandes catégories.

- 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 ?



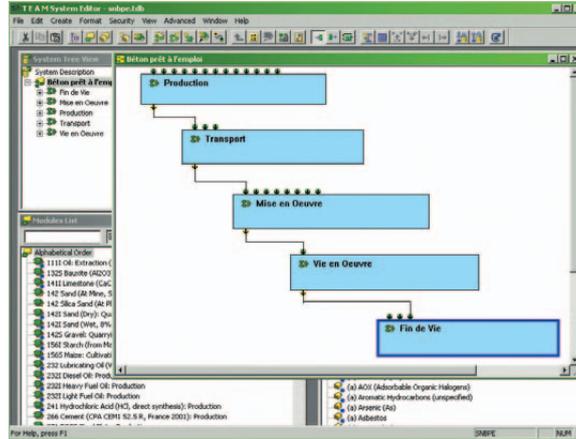
Étapes et phases de l'ACV d'une route construite avec des matériaux traités



Les 10 indicateurs environnementaux

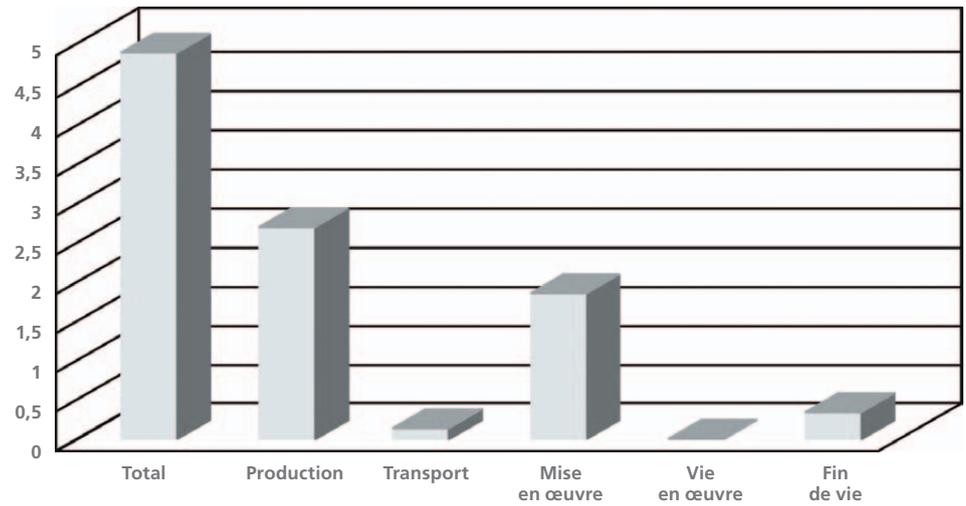
- 1/ Consommation de ressources énergétiques
- 2/ Indicateur d'épuisement de ressources
- 3/ Consommation de l'eau
- 4/ Déchets solides
- 5/ Changement climatique
- 6/ Acidification atmosphérique
- 7/ Pollution de l'air
- 8/ Pollution de l'eau
- 9/ Destruction de la couche d'ozone stratosphérique
- 10/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

Modélisation

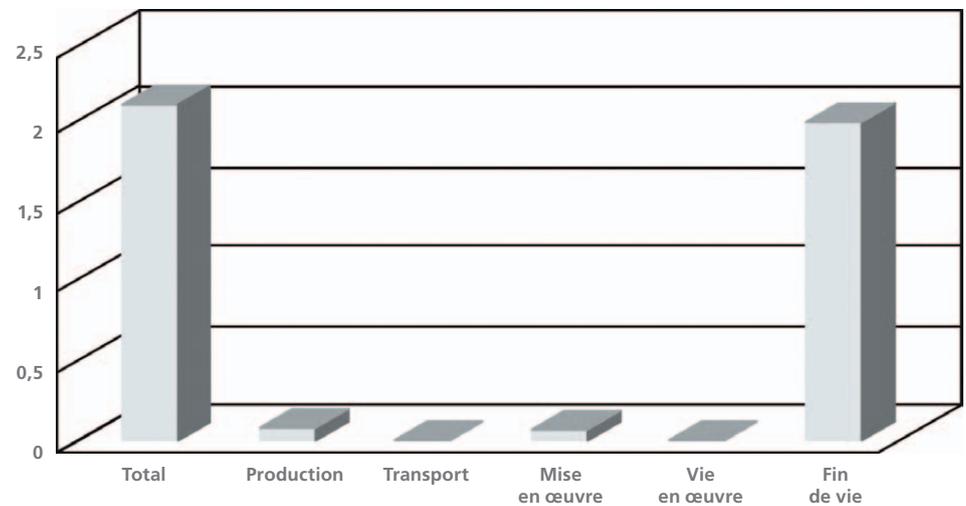


Quelques résultats ACV

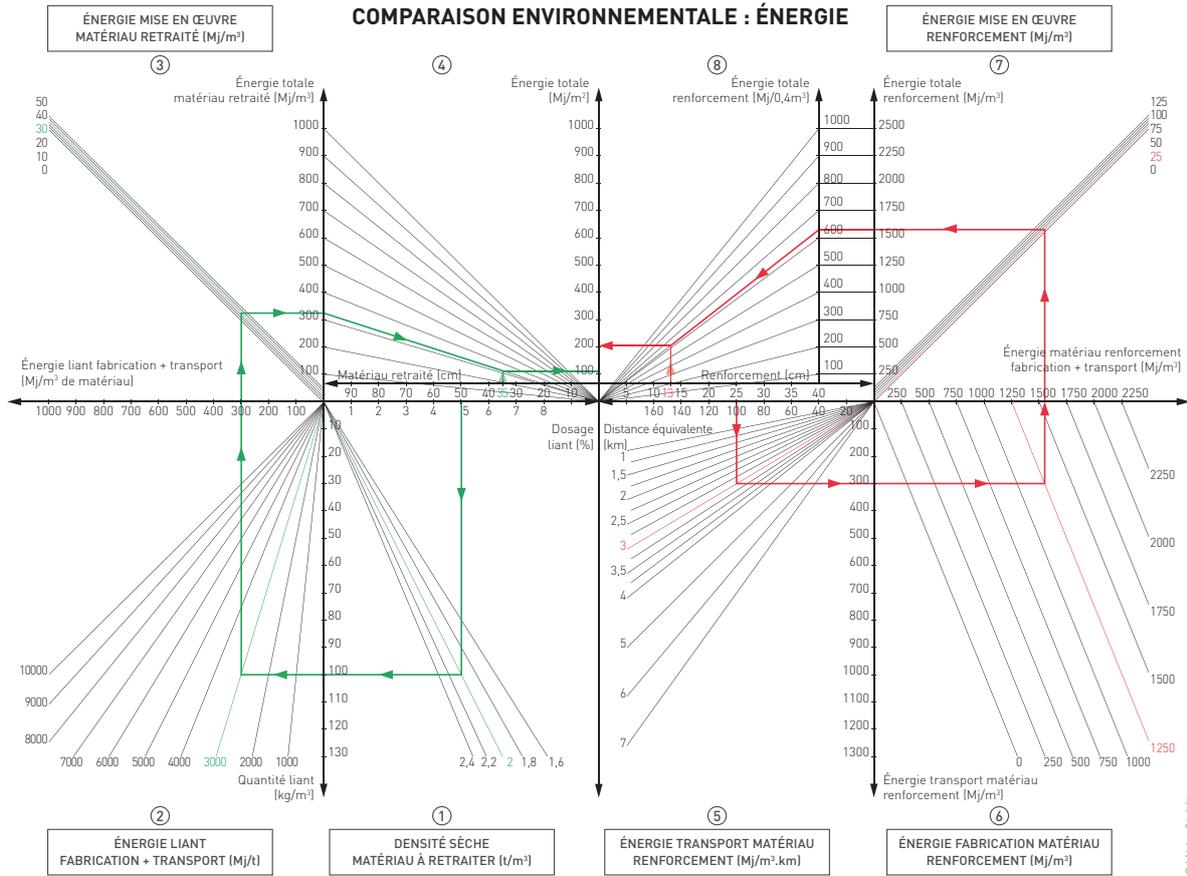
ÉNERGIE PRIMAIRE TOTALE (EN MJ)



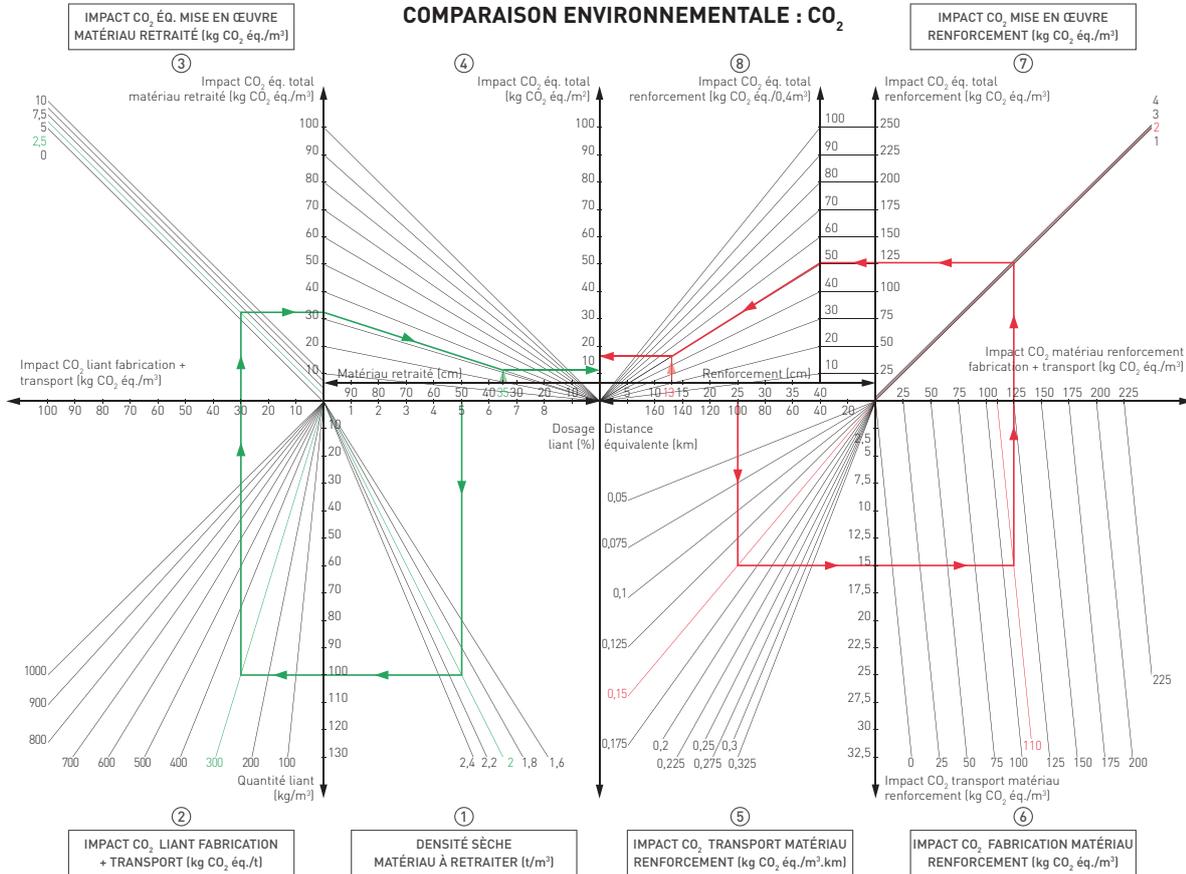
DÉCHETS TOTAUX (EN KG)



RETRAITEMENT EN PLACE VS RENFORCEMENT COMPARAISON ENVIRONNEMENTALE : ÉNERGIE



RETRAITEMENT EN PLACE VS RENFORCEMENT COMPARAISON ENVIRONNEMENTALE : CO₂





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.



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

NOTES





CHAPITRE 8

VALORISATION DES MATÉRIAUX EN PLACE CONCLUSION

≡ LE CONTEXTE	80
≡ LE BILAN	81
≡ LES VOIES DE PROGRÈS	82



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 :
WWW.INFOCIMENT.S.FR



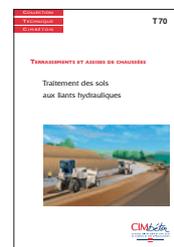
T 58 et C 58 •
Retraitement en place à froid
des anciennes chaussées
aux liants hydrauliques
CCCTP-Type, CIMBETON, 2008.



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



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



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

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 \geq 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...

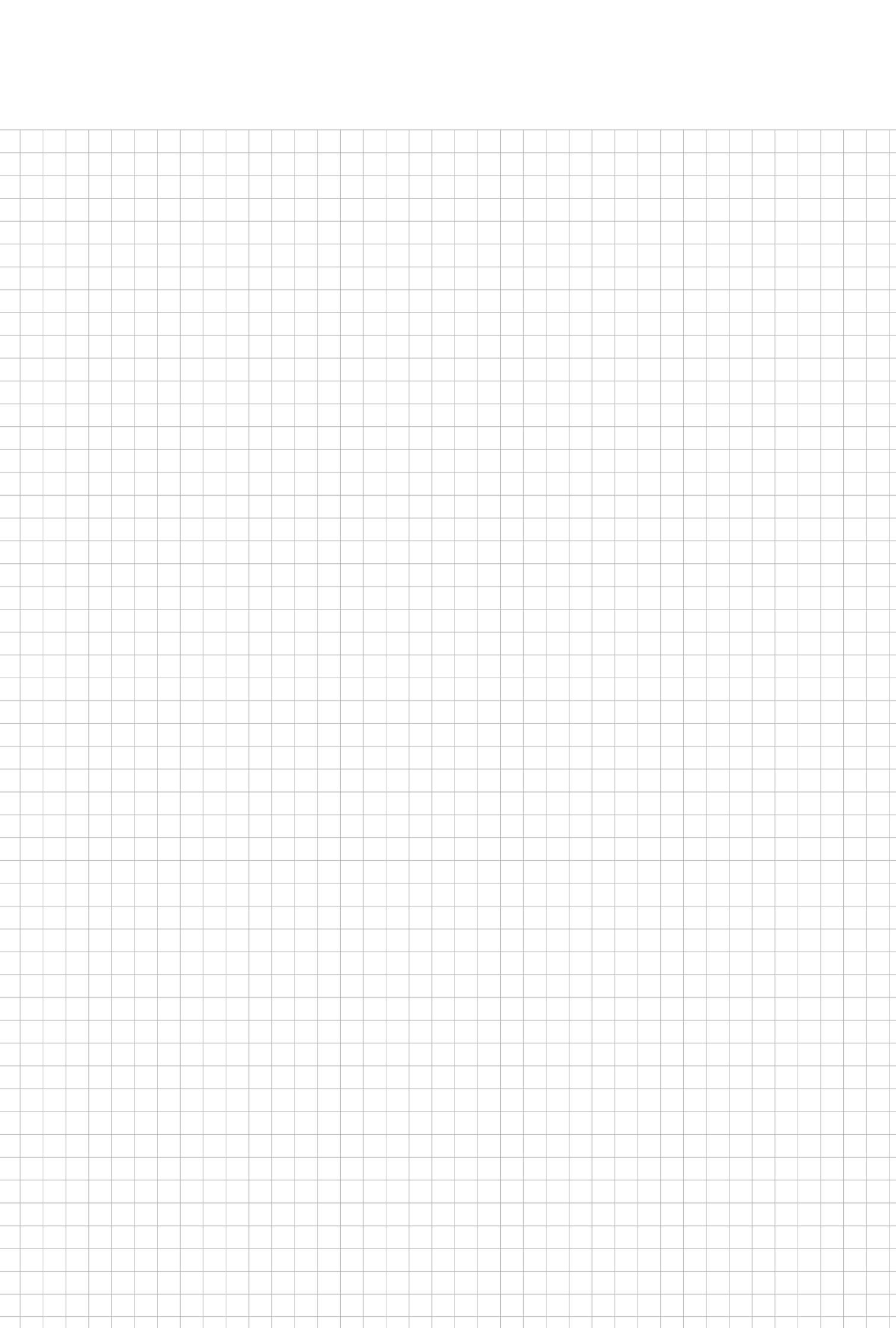
Les pistes...

- **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 !**

NOTES





EN LIGNE !

UN SITE ENTIÈREMENT DÉDIÉ À LA VALORISATION DES MATÉRIAUX EN PLACE À FROID AUX LHR : lhr.cimbeton.net

Depuis 2008, nous avons entamé un tour de France afin de promouvoir, dans le domaine routier, les techniques de valorisation des matériaux en place aux liants hydrauliques. Ces journées sont organisées par Cimbéton en partenariat avec le CISMA (syndicat des équipements pour Construction, Infrastructures, Sidérurgie et MAntention), le STF (Syndicat des Terrassiers de France) et l'USIRF (Union des Syndicat de l'Industrie Routière de France).

Après plusieurs années d'enrichissement technique et organisationnel, et dans le but de pérenniser l'action de promotion, nous avons décidé de créer un site internet dédié aux techniques de valorisation en place des matériaux en place aux liants hydrauliques.

Nos objectifs :

- faire connaître ces techniques au plus grand nombre,
- créer une plate-forme d'échange,
- faciliter l'organisation des conférences,
- mettre à disposition une base de données spécifique,
- pérenniser et démultiplier l'action,
- créer des liens entre les différents acteurs.

Ce site contient :

- des informations sur les prochaines journées techniques,
- une documentation technique appropriée,
- des outils pédagogiques (film 3D),
- une plate-forme d'échange.

Nous sommes confiants que ce site continuera à se développer, grâce à vos remarques, vos commentaires et vos suggestions.

”

Joseph Abdo



Toutes les conférences
et + encore sur :

lhr.cimbeton.net



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
Email : centrinfo@cimbeton.net | Internet : www.infociments.fr



version octobre 2012

Crédits photos : Cimbéton, LDD

Conception et réalisation : fenêtre sur cour

Impression : 72|78 Contrast-Numerix



avec nos partenaires

