

RETRAITEMENT DES CHAUSSÉES EN PLACE À FROID AUX LIANTS HYDRAULIQUES LES ASPECTS GÉNÉRAUX

Christophe PRIEZ

-
COLAS



LE RÉSEAU ROUTIER FRANÇAIS

- Plus d'un million de kilomètres.
- 85 % des échanges de biens et de personnes.

Un réseau qui s'use et se dégrade au fil des années, face à l'agression du trafic, des intempéries et par manque d'entretien.

Un patrimoine de 2000 milliards d'euros dont la valeur diminue s'il n'est pas correctement entretenu.



ÉTAT DES LIEUX

DES SIGNAUX D'ALERTE > UNE URGENCE A AGIR

- **Dégradations de surface** : orniérage et fissuration



Ces simples dégradations de surface sont alors traitées grâce à une réfection de la couche de roulement ou un retraitement à l'émulsion de bitume.



ÉTAT DES LIEUX

DES SIGNAUX D'ALERTE > UNE URGENCE A AGIR

■ Dégradations structurelles

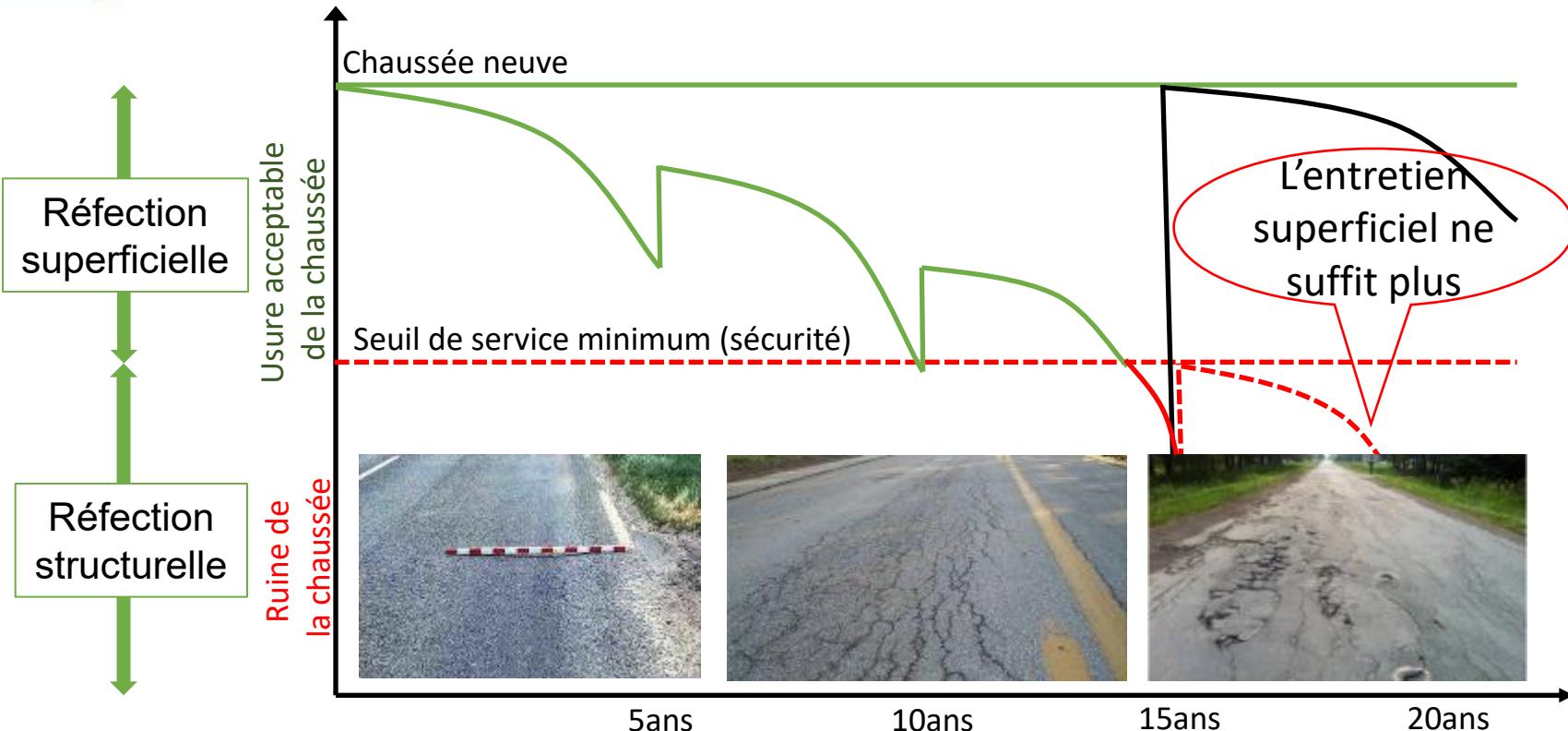
- Affaissements,
- Faïençage généralisé, nids de poule,
- Orniérage à grand rayon.



Ces dégradations doivent être traitées avec des techniques adaptées.



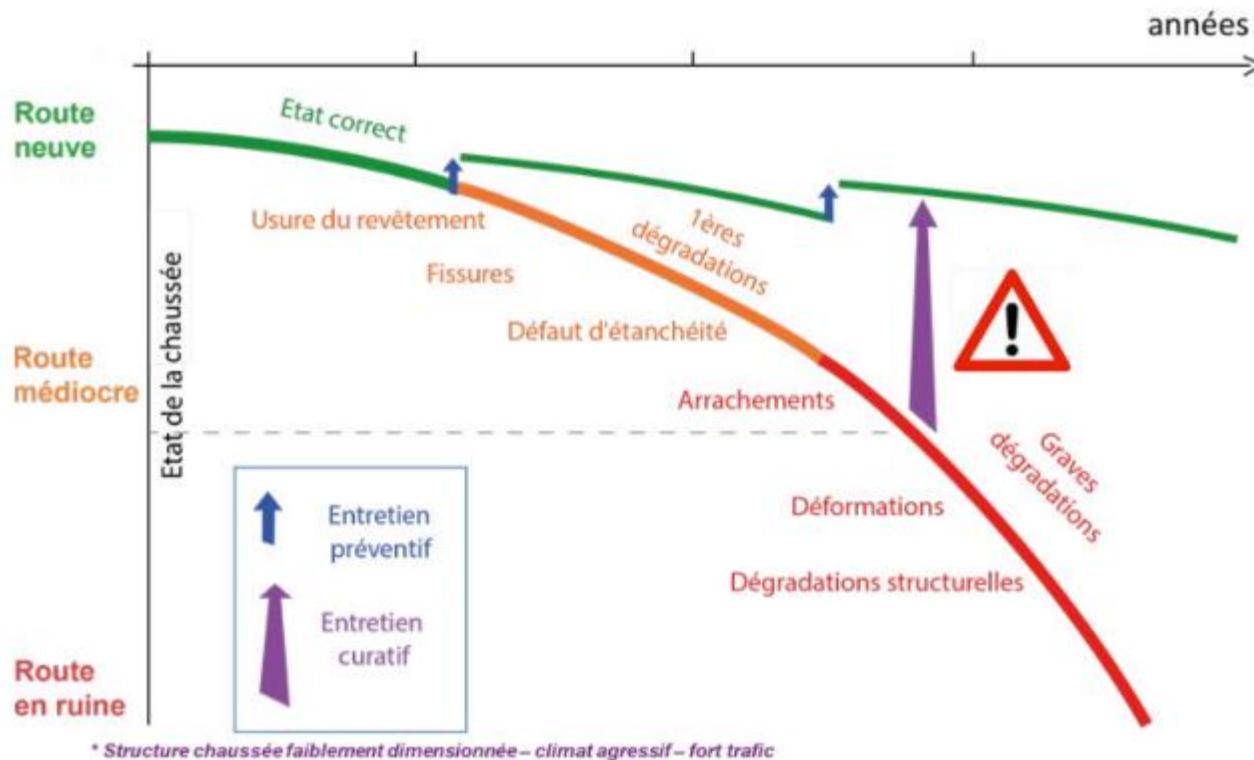
ENTREtenir AU BON MOMENT À PARTIR DU BON DIAGNOSTIC



→ L'ENTRETIEN STRUCTUREL FERA DE TOUTE FAÇON PARTIE DU PROCESSUS DE MAINTENANCE D'UNE CHAUSSÉE.



ENTREtenir AU BON MOMENT À PARTIR DU BON DIAGNOSTIC



→ L'ENTRETIEN STRUCTUREL FERA DE TOUTE FAÇON PARTIE DU PROCESSUS DE MAINTENANCE D'UNE CHAUSSÉE.



ENTRETIEN STRUCTUREL D'UNE CHAUSSÉE DEUX SOLUTIONS TECHNIQUES

■ Reconstruction ou renforcement épais :

- Reconstruction = décaissement et reconstruction de la chaussée.
- Renforcement épais = fraisage des couches de surface dégradées et rechargement par des couches d'assise neuves.

→ TECHNIQUES LOURDES, COÛTEUSES, SOURCES DE NUISANCES POUR LES RIVERAINS.

■ Retraitemen^t en place aux Liants Hydrauliques

- Réutiliser les matériaux en place « déjà payés ».
- Route = gisement de matériaux existant, (re)valorisé par un liant hydraulique.

→ SOLUTION TECHNIQUE LA PLUS RATIONNELLE CAR LA PLUS ÉCONOMIQUE ET LA MIEUX ADAPTÉE À L'ENVIRONNEMENT (15 – 20 €/m² y compris la couche de surface).



LE RETRAITEMENT DES CHAUSSÉES EN PLACE AUX LIANTS HYDRAULIQUES

Cette technique consiste à **incorporer** au matériau obtenu par fractionnement de l'ancienne chaussée, **du liant hydraulique routier et de l'eau**, et à les mélanger intimement, *in situ*, jusqu'à l'obtention d'un matériau homogène et performant.

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

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



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 : Retraitemen^t structurel d'un chemin forestier (Chamonix) et d'une route départementale à Crèvecœur-le-Grand (59)



Exemple : Retraitemen^t couche de fondation voie lente Autoroute A10 à Poitiers (Depuis 1985)



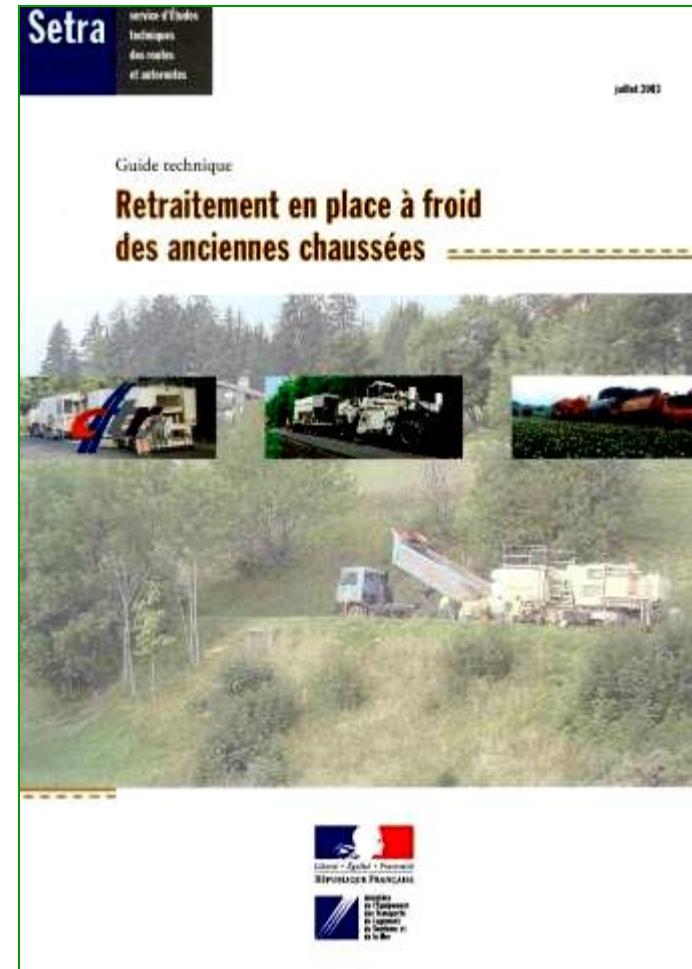
AVANTAGES

- **Préservation du patrimoine routier,**
- **Préservation des ressources naturelles:** Granulats, Bitume,
- **Réduction des coûts énergétiques:** Séchage des matériaux, Fabrication, Transport,
- **Possibilité de traitement en place des matériaux présentant une forte teneur en HAP,**
- **Réduction des nuisances environnementales:** poussières, fumées, moins d'émissions liées au transport,
- **Réduction de la gêne à l'usager:** moins de trafic lié au transport des matériaux et au chantier, Remise en circulation rapide,
- **Réduction générale des coûts.**



GUIDE CFTR « RETRAITEMENT EN PLACE À FROID DES ANCIENNES CHAUSSÉES »

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





RETRAITEMENT A L'ÉMULSION



LE DOMAINE D'APPLICATION

- Traitement de matériaux routiers (GNT, matériaux bitumineux)
- En couche de surface ou de liaison; épaisseur 5 à 15 cm
- Etude laboratoire préalable, fonction du trafic.
- Le retraitement à l'émulsion permet :
 - De réhabiliter les couches de surface,
 - De traiter les problèmes d'interfaces – couches décollées,
 - D'effectuer un renforcement structurel.



LE RETRAITEMENT EN PLACE À L'ÉMULSION



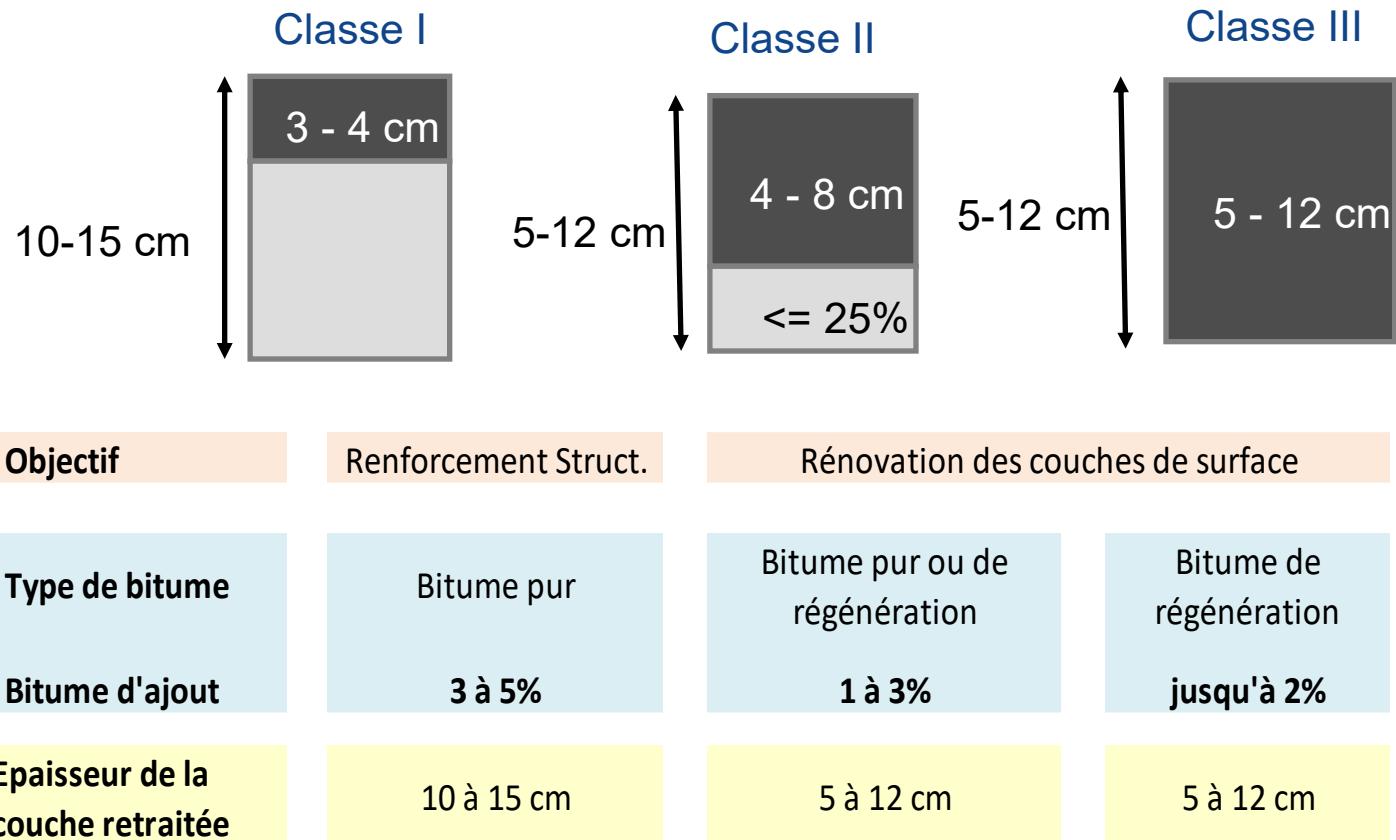
AVANT



APRÈS

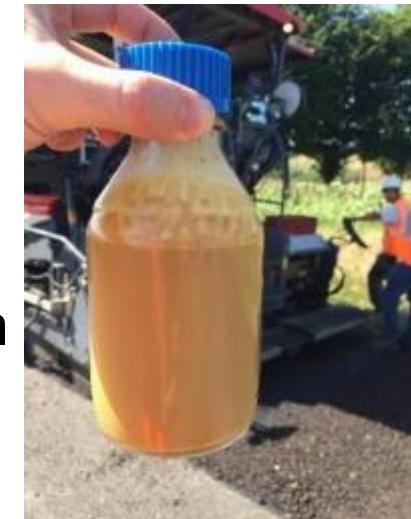


LES DIFFÉRENTES CLASSES



LES PERSPECTIVES

- Technique qui va se développer car elle répond parfaitement aux exigences sociétales et environnementales des années à venir (recyclage 100 %, technique « à froid » et « en place », peu énergivore).
- Possibilité, dans certains cas, de substitution du bitume par des liants de régénération d'origine végétale permettant de diminuer encore davantage l'impact carbone des chantiers (neutralité carbone).
- Combinaison avec des liants hydrauliques pour monter en gamme de trafic et assurer une cohésion encore plus rapide au jeune âge.



LES TECHNIQUES ROUTIÈRES À L'ÉMULSION : MOINS D'ÉMISSIONS DE GAZ À EFFETS DE SERRE, MOINS DE CONSOMMATION D'ÉNERGIE, PLUS DE CONSOMMATION DE MATÉRIAUX RECYCLÉS ...

Jean BUREAU (jbureau) ABE_Entr

En cours

- Chaussée bus en béton
- DBION - RD 78 VELOGNY - 5 ind.
- DBION - RD 78 VELOGNY (Copie)
- TERRASSEMENTS
- Trençage NORD A4A2
- Solution de base
- Solution variante 1
- Trençage SUD A4
- VELOGNY- RD 78 - RENOVATION

Affichage d'une synthèse environnementale

Générez le PDF de synthèse Extraction Excel Vérifier les données

Consommations comparées en énergie procédé (en MJ)

Solution	Matières	Transports en amont	Fabrication des mélanges	Transport chantier	Mise en œuvre	Total	Comparaison / Base
Solution de base	468 460,37	22 689,43	559 348,91	14 181,80	147 038,50	1 213 729,82	0,00 %
Solution variante 1	93 436,54	4 349,87	77 428,35	2 363,63	79 166,00	256 744,39	-78,81 %

Consommations totales comparées en énergie procédé

Matériaux
Transports en amont
Fabrication des mélanges
Transport chantier
Mise en œuvre

Consommations comparées en énergie procédé

Solution de base
Solution variante 1

Emissions de Gaz à Effet de Serre comparées

Matières
Transports en amont
Fabrication des mélanges
Transport chantier
Mise en œuvre

Projets

- Produits et formules
- Engins et ateliers
- Acheminements
- Transports
- Agences

LE RETRAITEMENT GÉNÉRALITÉS | RETRAITEMENT A L'ÉMULSION | RETRAITEMENT AUX LIANTS HYDRAULIQUES | MÉTHODE DE DIMENSIONNEMENT | ÉTUDES TECHNIQUES | DIMENSIONNEMENT DES STRUCTURES RETRAITÉES | EXÉCUTION | CONTRÔLES | BIBLIOGRAPHIE



RETRAITEMENT AUX LIANTS HYDRAULIQUES



PROPRIÉTÉS ET BÉNÉFICES DU RETRAITEMENT

- Durée de vie analogue aux solutions traditionnelles de reconstruction de chaussée (Méthode de dimensionnement rationnelle française),
- Possibilité d'homogénéiser une structure préalablement élargie,
- Reprise d'un profil en travers bombé,
- Redimensionnement de la structure de chaussée pour adaptation au nouveau trafic (Réhabilitation partielle ou totale des couches d'assise ou couche de forme),
- Amélioration possible de la **tenue au gel / dégel**,
- Travaux pouvant être réalisés **sous circulation**, et en particulier le trafic des riverains est maintenu,
- **Conservation des seuils** en traversée d'agglomération (Vigilance sur les réseaux enterrés).



DOMAINE D'EMPLOI

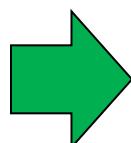
- Technique de classe IV
- Renforcement structurel.
- Correction d'un défaut structurel (couches de surface, Couche de liaison, base ou fondation).
- Epaisseur 20 – 40 cm.
- Tous trafics.



AVANTAGES RETRAITEMENT Vs RENFORCEMENT

1. Sur le plan économique :

- Rapidité d'exécution : Rendement de 250 à 600 ml/jour (de 3 000 à 5 000 m²/j),
- Solution de **10% à 30% plus économique**,
- Economies indirectes (préservation du réseau routier avoisinant),
- Economie de transport de matériaux et élimination des nuisances associées (bruit; poussière; vibration; accidents)



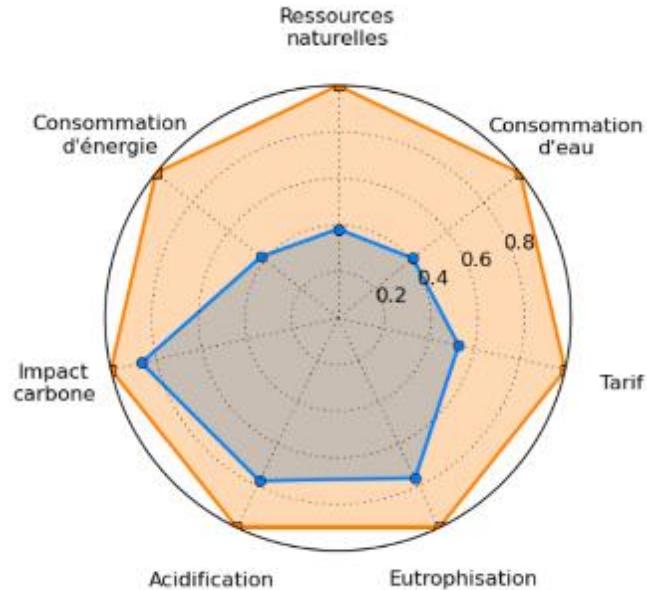
≈ 25 k€ économie / km
(6 m large, 20% - cher)



AVANTAGES RETRAITEMENT Vs RENFORCEMENT

2. Sur le plan environnemental :

- Réduction des Gaz à Effet de Serre (GES),
- Economies d'énergie et de carburant,
- Valorisation des matériaux et préservation des ressources non renouvelables,
- **La route est un gisement de matériau, 100% valorisable,**
- **Réemploi sur place à 100% (Pas d'évacuation de matériaux).**



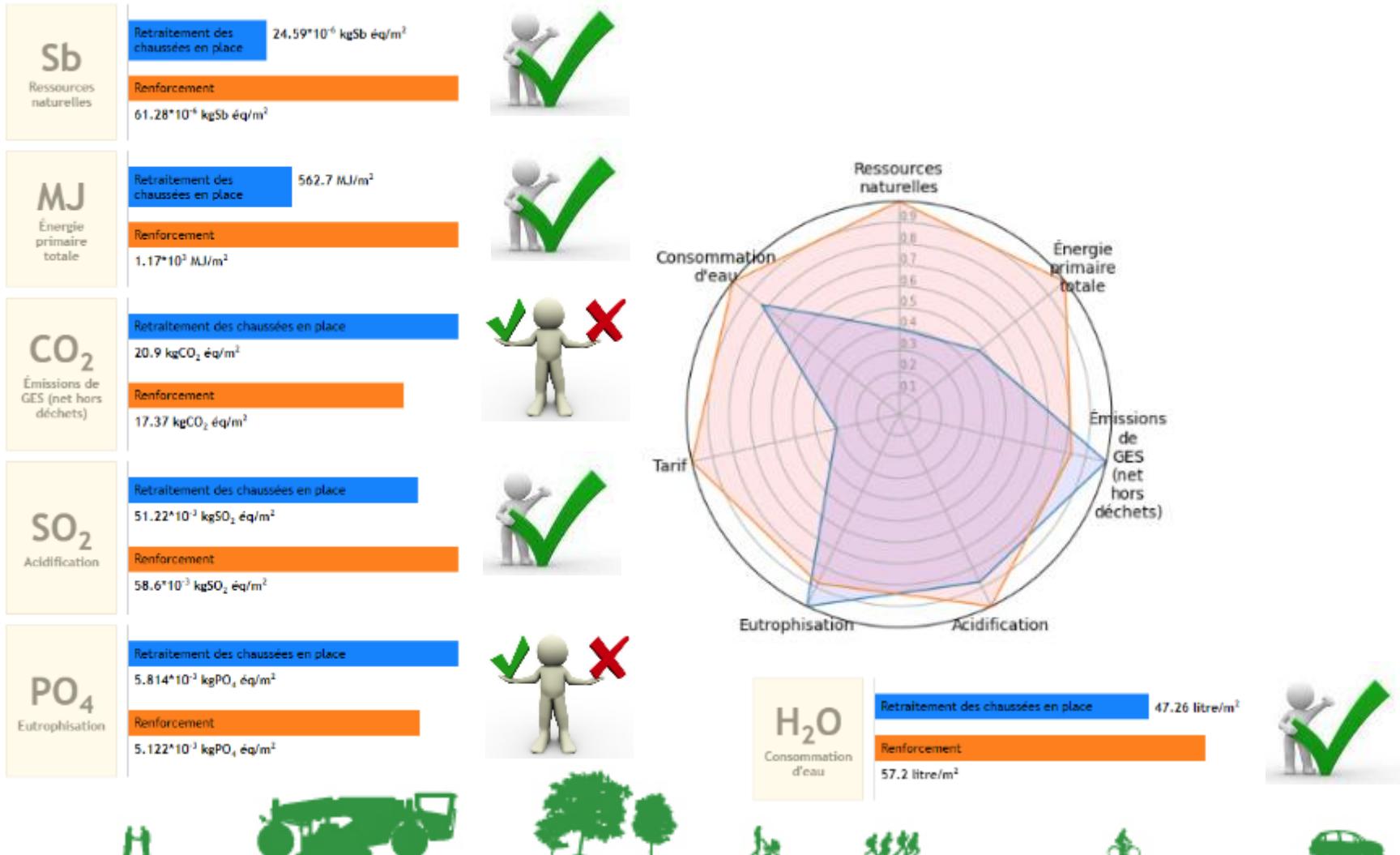
AVANTAGES RETRAITEMENT Vs RENFORCEMENT

Retraitement des chaussées en place		Technique routière : retraitement des chaussées en place vs renforcement	Exports	Renforcement
Quantité de liant		Retraitement des chaussées en place	Renforcement	Retraitement des chaussées en place
Fabrication et transport du liant		Quantité de liant : Valeurs par défaut Matériaux : Matériaux compact ou traité	Décaissement : Valeurs par défaut Épaisseur de la couche à raboter : 10.0 cm Machine de rabotage : Caractéristiques par défaut	Décaissement
Mise en oeuvre couche retraitée		Fabrication et transport du liant : Valeurs par défaut ICV Liants : LHR L40 Moyen transport : Citerne liant 44t charge utile 31t Distance : 150.0 km Tarif : 110.0 €/t	Tarif du rabotage : 10.0 €/m ² Moyen transport : Camion 44t charge utile 25t Distance : 70.0 km Tarif du transport : 0.1 €/t.km Tarif de mise en décharge : 50.0 €/t	Fabrication et transport mat. base
Epaisseur couche retraitée		Mise en oeuvre couche retraitée : Valeurs par défaut Tarif : 6.0 €/m ³ Matériaux en place : Matériaux compact ou traité	Fabrication et transport mat. base : Valeurs par défaut Type de matériaux : Gravier bitume GB3 Moyen transport : Camion 44t charge utile 25t Distance : 40.0 km Tarif du matériau de base : 60.0 €/t	Epaisseur couche de base
Fabrication et transport mat. surface		Epaisseur couche retraitée : 35.0cm Fabrication et transport mat. surface : Valeurs par défaut Type de matériaux : Roche massive : BBSG 6 cm Moyen transport : Camion 44t charge utile 25t Distance : 40.0 km Tarif rendu chantier : 70.0 €/t	Mise en oeuvre base : Valeurs par défaut Tarif : 115.0 €/m ³ Type de matériaux : Gravier bitume Epaisseur couche de base : 13.0cm Fabrication et transport mat. surface : Valeurs par défaut Type de matériaux : Roche massive : BB 5 cm Moyen transport : Camion 44t charge utile 25t Distance : 40.0 km Tarif rendu chantier : 70.0 €/t	Fabrication et transport mat. surface
Mise en oeuvre mat. surface		Mise en oeuvre mat. surface : Valeurs par défaut Tarif : 6.0 €/m ³ Type de matériaux : BB ou BBSG 6 cm	Mise en œuvre mat. surface : Valeurs par défaut Tarif : 6.0 €/m ² Type de matériaux : BB ou BBSG 5 cm	Mise en œuvre mat. surface
Résultat				Résultat
			Comparaison	

- Hypothèses :
- Trafic T3
 - Support PF2
 - Durée de service 30 ans
 - Taux accroissement 2%



AVANTAGES RETRAITEMENT Vs RENFORCEMENT LHR L40



AVANTAGES RETRAITEMENT Vs RENFORCEMENT LHR S70



Retraitement des chaussées en place 24.43×10^{-6} kgSb éq/m²

Renforcement 61.28×10^{-6} kgSb éq/m²



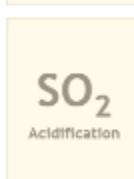
Retraitement des chaussées en place 539.9 MJ/m²

Renforcement 1.17×10^3 MJ/m²



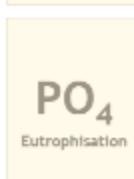
Retraitement des chaussées en place 14.56 kgCO₂ éq/m²

Renforcement 17.37 kgCO₂ éq/m²



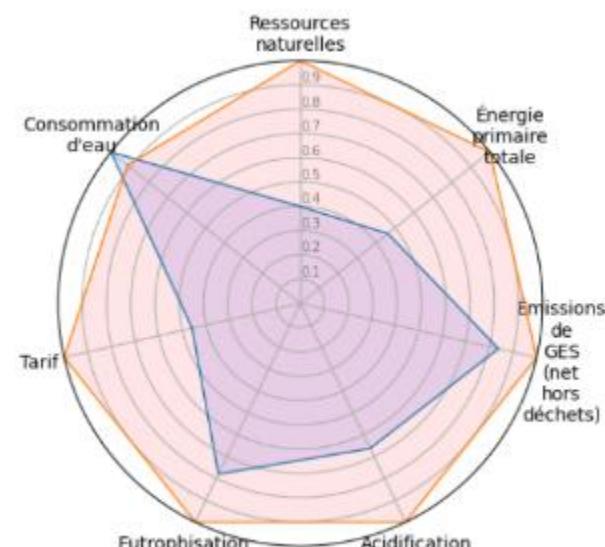
Retraitement des chaussées en place 38.87×10^{-2} kgSO₂ éq/m²

Renforcement 58.6×10^{-2} kgSO₂ éq/m²



Retraitement des chaussées en place 3.997×10^{-2} kgPO₄ éq/m²

Renforcement 5.122×10^{-2} kgPO₄ éq/m²



AVANTAGES RETRAITEMENT Vs RENFORCEMENT

3. Sur le plan sociétal :

- Moindre gêne de l'usager :
 - Réduction des nuisances liées aux approvisionnements du chantier,
 - Réduction des délais d'intervention,
 - Accès riverains maintenus.
- Sécurité accrue (pas de décaissement).





RETRAITEMENT DES CHAUSSÉES EN PLACE À FROID AUX LIANTS HYDRAULIQUES. CONCEPTION ET RÉALISATION

CHRISTOPHE PRIEZ

COLAS





MÉTHODE DE DIMENSIONNEMENT



MÉTHODE DE DIMENSIONNEMENT

Elle est définie dans la norme NF P 98 086 (Mai 2019) et dans le guide technique «Conception et dimensionnement des structures de chaussées, SETRA / LCPC; 1994». Elle consiste à :

- Evaluer les paramètres suivants :
 - Le trafic cumulé,
 - La portance du sol support
 - Les caractéristiques des matériaux et matériels envisagés.
- Ces paramètres sont nécessaire pour réaliser le dimensionnement.

- Eventuellement, effectuer une vérification au gel /dégel.





MÉTHODE DE DIMENSIONNEMENT APPLIQUÉE AU RETRAITEMENT DES CHAUSSÉES



LE TRAFIC CUMULÉ

- Rien de particulier pour le retraitement des chaussées, le trafic cumulé est calculé conformément à la norme NF P 98 086.

Trafic	Classe de trafic						
	T5	T4	T3		T2	T1	$\geq T_0$
			T3-	T3+			
TMJA PL/j/sens	1 - 25	26 - 50	51 - 85	86 - 150	151 - 300	301 - 750	> 750
TC PL/sens (10^6)	TC1	TC2	TC3		TC4	TC5	$\geq TC6$
	$0,2 \cdot 10^6$	$0,5 \cdot 10^6$	$1,5 \cdot 10^6$		$2,5 \cdot 10^6$	$6,5 \cdot 10^6$	$> 17,5 \cdot 10^6$
Niveau circulation	Trafic faible				Trafic Moyen		Trafic Fort

LA PORTANCE DU SOL SUPPORT

- En ce qui concerne le retraitement des chaussées, la portance du sol support est déterminée par « Rétro calcul ».
- Le rétro calcul est issu de la mesure du module EV2 sur la partie conservée de l'ancienne chaussée ou par une mesure de défexion sur l'ancienne chaussée.
- Les modules des couches d'assises en place : Retro-calculation issued from FWD measurements.



Essai à la Plaque



Déflectographe



FWD



LES CARACTÉRISTIQUES DES MATÉRIAUX ET MATÉRIELS ENVISAGÉS

- **Les caractéristiques des matériaux et matériels envisagés sont des prérequis pour dimensionner.**
 - **Echantillonnage représentatif du corps des chaussées**
 - **Critères de performances**
 - Caractérisation des matériaux : M1 ou M2
 - Qualité du retraitement : R1 ou R2



ECHANTILLONNAGE REPRÉSENTATIF DU CORPS DE CHAUSSÉES

- Diagnostic en amont de la chaussée existante :
 - Etat mécanique de la chaussée à établir en fonction :
 - Des archives
 - De relevés visuels
 - De mesures de portance ou de déflexions.
 - Caractérisation du matériau:
 - Sondages et/ou carottages
 - Tranchées en travers



CRITÈRES DE PERFORMANCES

- **2 Niveaux de qualités des matériaux : M1 et M2.**
 - **Un matériau M1** doit satisfaire aux deux conditions :
 - Courbe granulométrique s'inscrivant dans le fuseau de la norme NF EN 13-285.
 - Propreté des matériaux ($VBs \leq 0,8$).
 - **Un matériau M2** : si une des 2 conditions ci-dessus est non satisfaite.
- **2 Niveaux de qualité de retraitement : R1 et R2.**
 - Dépendent du type d'épandeur (coef. LTV) et de malaxeur (coef. HEPIL) utilisés



CRITERES DE PERFORMANCES

L'avant-propos de la norme NF EN 13285 définit 6 codes GNT 1 à GNT 6 correspondant aux catégories usuelles en France, en fonction des caractéristiques intrinsèques LA et MDE et de la granularité.

Codification des graves non traitées usuelles en France						
Codes	GNT 1	GNT 2	GNT 3	GNT 4	GNT 5	GNT 6
Granularité	0/63 mm	0/31,5 mm	0/20 mm	0/14 mm	0/31,5 mm	0/20 mm
Caractéristiques intrinsèques	$LA \leq 40$ et $MDE \leq 35$					A renseigner



CRITÈRES DE PERFORMANCES DES MATÉRIELS

■ 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	$T > T_3$	R1	q_1
Liaison ou base	$T \leq T_3$	R1	q_2 (admise)
		R2 (admise)	q_1
Fondation		R1	q_2
		R2 (admise)	



CRITÈRES DE PERFORMANCES DES MATÉRIELS DE RETRAITEMENT

- Coefficient **LTV** de qualification **des épandeurs**
 - **L** : Homogénéité **Longitudinale**,
 - **T** : Homogénéité **Transversale**,
 - **V** : Possibilité de faire **Varier** la largeur d'épandage.
- Coefficient **HEPIL** de qualification des **matériels de malaxage** :
 - **H** : **Homogénéisation** du matériau avec le ou les liants,
 - **E** : Maîtrise de l'**Epaisseur traitée**,
 - **P** : **Puissance** du rotor,
 - **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.



CRITÈRES DE PERFORMANCES DES MATÉRIELS DE RETRAITEMENT

- 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		
E		seulement si T=3 et V=3	
P			
I			
L			

L			
T			
V		seulement si H=3	

Compactage : qualité q_1 si $t > T3$ ou q_2 si $t \leq T3$

Emploi de compacteurs V 5 ou V 4 et P2
(voir V 3 suivant l'épaisseur compacté)

Accepté

Accepté sous conditions

Refusé



**Matériels nécessaires pour obtenir
le niveau de qualité R2 de retraitement.**

	3	2	1
L			
T			
V			

L			
T			
V		seulement si H=3	

Compactage : qualité q_2

Emploi de compacteurs V 3 ou V 4 ou V 5 et P2

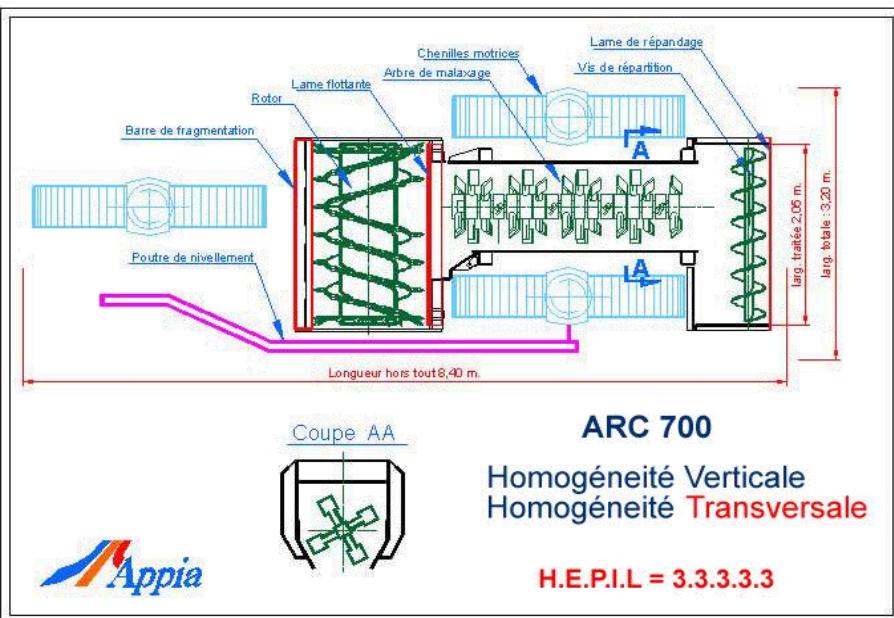
PULVIMIXEURS

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



ATELIERS DE RECONDITIONNEMENT

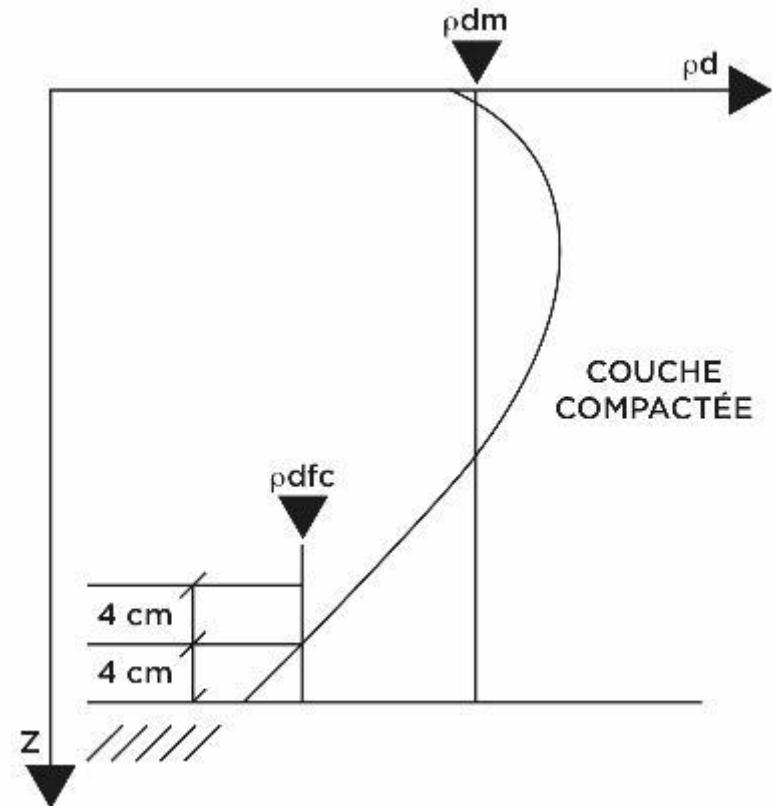
- Comportant une fraise et un malaxeur longitudinal séparés :
 - Malaxage vertical et dans le profil en travers.
 - Exemples : Arc 700 et ARC 1000 (LTV : 332, HEPIL : 33333), Wirtgen WR 4200 (HEPIL : 33333).



CRITÈRES DE PERFORMANCES DU MATÉRIEL DE COMPACTAGE

Niveau de compactage

- **Caractéristiques :**
 - Masse volumique moyenne : P_m
 - Masse volumique fond de couche : P_{fdc}
- **Référence :**
 - Remblais, purges, PST : **OPN**
 - couches de forme : **OPN**
 - assises de chaussées : **OPM**



NIVEAU DU COMPACTAGE

Objectif Terrassements	Masse volumique moyenne ρ_m	Masse volumique fond de couche ρ_{fdc}	Observation
q4	$P_m = 95\% \cdot \rho_{OPN}$	$\rho_{fdc} = 92\% \cdot \rho_{OPN}$	Objectif Remblais, purges, PST
q3	$P_m = 98,5\% \cdot \rho_{OPN}$	$\rho_{fdc} = 96\% \cdot \rho_{OPN}$	Objectif Couches de Forme

Objectif Assises	Masse volumique moyenne ρ_m	Masse volumique fond de couche ρ_{fdc}	Observation
q2	$P_m = 97\% \cdot \rho_{OPM}$	$\rho_{fdc} = 95\% \cdot \rho_{OPM}$	Objectif Fondation; Base si $T \leq 150$ PL/j
q1	$P_m = 100\% \cdot \rho_{OPM}$	$P_{fdc} = 98\% \cdot \rho_{OPM}$	Objectif base si $T > 150$ PL/j et Couche de surface



CLÉS DU SUCCÈS D'UN CHANTIER DE RETRAITEMENT

Le secret de la réussite d'un chantier de retraitement, c'est l'homogénéité:

- Dosage en liant hydraulique,
- Eau,
- Epaisseur.





ÉTUDES TECHNIQUES



ÉTUDE DE FORMULATION

- **Routes à fort trafic : étude de formulation complète obligatoire.**
Pour ALIZE, nous avons besoin de :
 - Le module $E = 0,9.E_{360j}$ (peut-être mesuré à 60 j puis extrapolé à 360 j)
 - σ_6 : la contrainte de rupture à la fatigue à 1 million de cycles
($\sigma_6 = 0,7 \cdot R_{td \ 360j}$)
 - La qualité M1 ou M2
 - La qualité du retraitement R1 ou R2
- Route à faible trafic : étude de formulation optionnelle
→ σ_6 et E prédéfinis



ÉTUDE DE FORMULATION POUR ROUTES A TRAFIC > T₃

- **Étude de formulation : systématique** pour des trafics élevés > T₃
 - Analyse granulométrique et homogénéité des matériaux à retraiter.
 - Choix du liant hydraulique routier et du dosage.
 - Étude des performances mécaniques (R_t et E, pris en compte à 360 j) :
 - 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).

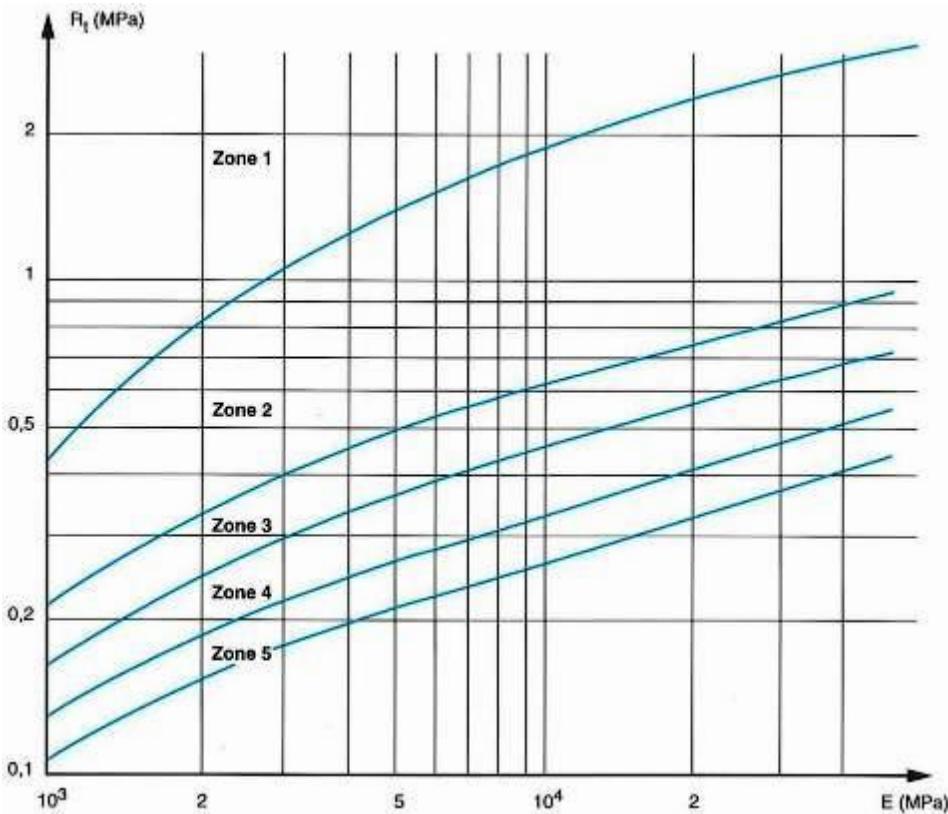
Liant	Âge	R _t / R _{t360}	E _t / E _{t360}
LHR *	60 j	0,78	0,82

À défaut, pour tout autre liant, le coefficient de correspondance à appliquer sera de 1.

* Note d'information de l'IDRRIM N°30 janvier 2016



CLASSIFICATION DES MATÉRIAUX RETRAITÉS



Comme une GTLH



ÉTUDE DE FORMULATION POUR ROUTES A Trafic $\leq T_3$

■ Étude de formulation :

Pas obligatoire pour des trafics faibles Trafic $\leq T_3$ (150 PL/j)

- Les **caractéristiques mécaniques** des matériaux à introduire dans Alizé sont alors données par le tableau suivant (guide SETRA) :

Caractéristiques obtenues après abattement	Cas de chantier		Qualité de retraitement R1		Qualité de retraitement R2	
	Matériau M1	Matériau M2	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		





DIMENSIONNEMENT DES STRUCTURES RETRAITÉES



DÉTERMINATION DE L'ÉPAISSEUR DE LA STRUCTURE RETRAITÉE

Extrait du «*Guide Technique Retraitemen*t en place des anciennes chaussées;
SETRA / LCPC – 2003 »

Fiche : R1 M1				
Durée de vie = 20 ans ; accroissement trafic= 2%				
Portance support MPa	50	80	120	
Trafic en nombre de PL par sens				
Traffic cumulé $0,74 \text{ à } 1,3 \cdot 10^6$ (de 85 à 150 PL/j/sens avec CAM = 0,8)	6 30	6 29	6 25	
Traffic cumulé $0,43 \text{ à } 0,74 \cdot 10^6$ (de 50 à 85 PL/j/sens avec CAM = 0,7)	6 30	6 28	6 24	
Traffic cumulé $0,22 \text{ à } 0,43 \cdot 10^6$ (de 25 à 50 PL/j/sens avec CAM = 0,5)	4 30	4 28	4 25	
Traffic cumulé $0 \text{ à } 0,22 \cdot 10^6$ (jusqu'à 25 PL/j/sens avec CAM = 0,4)	4 29	4 27	4 24	
CAM : coefficient d'agressivité moyen				



MISE EN PLACE DE LA COUCHE DE ROULEMENT

- **Nature et épaisseur de la couche de roulement**

Classe de trafic	Couche de roulement
T_4 à T_6	Enduit superficiel et ECF
T_3 et T_2	4 à 6 cm de BBSG
T_1	8 cm de BBSG (en 2 couches)





EXÉCUTION



EXÉCUTION

FRAISEUSE



FRAISAGE

CAMION CITRINE



HUMIDIFICATION

ÉPANDEUR



ÉPANDAGE LIANT

PULVIMIXEUR



MALAXAGE

NIVELEUSE



RÉGLAGE

COMPACTEUR



COMPACTAGE

CITERNE EMULSION DE BITUME



PROTECTION DU MATERIAU TRAITÉ



FRAISAGE

FRAISEUSE



FRAISAGE

CAMION CITERNE



HUMIDIFICATION

ÉPANDEUR



ÉPANDAGE LIANT

PULVIMIXEUR



MALAXAGE

NIVELEUSE



RÉGLAGE

COMPACTEUR



COMPACTAGE

CITERNE ÉMULSION DE BITUME



PROTECTION DU MATERIAU TRAITE

Cette opération est réalisée jusqu'à une profondeur correspondant à celle déterminée par le dimensionnement.



HUMIDIFICATION

FRAISEUSE



FRAISAGE

CAMION CITERNE



HUMIDIFICATION

ÉPANDEUR



ÉPANDAGE LIANT

PULVIMIXEUR



MALAXAGE

NIVELEUSE



RÉGLAGE

COMPACTEUR



COMPACTAGE

CITERNE ÉMULSION DE BITUME



PROTECTION DU MATERIAU TRAITÉ

Cette opération doit être réalisée d'une façon bien définie et précise pour avoir une teneur en eau correspondant à celle de l'optimum Proctor modifié :

- Il faut éviter les matériels trop rustiques, ne maîtrisant pas convenablement le volume d'eau appliqué par unité de surface. Un dispositif d'arrosage avec enfouissement ou, à défaut, un système d'asservissement du débit de pompe à la vitesse d'avancement est une garantie pour un travail de qualité (nécessaire pour les couches de forme et les assises).
- Il est de bonne pratique de scarifier, avant arrosage, les sols imperméables, ceci pour favoriser la pénétration de l'eau dans la masse à traiter et pour éviter les ruissellements superficiels.



ÉPANDAGE

FRAISEUSE



FRAISAGE

CAMION CITERNE



HUMIDIFICATION

ÉPANDEUR



ÉPANDAGE LIANT

PULVIMIXEUR



MALAXAGE

NIVELEUSE



RÉGLAGE

COMPACTEUR



COMPACTAGE

CITERNE ÉMULSION DE BITUME



PROTECTION DU MATERIAU TRAITÉ

L'opération doit être menée soigneusement afin d'épandre sur le chantier la quantité exacte de liant définie par l'étude du laboratoire (kg/m^2). Cette opération est réalisée à l'aide d'un épandeur doté d'un système de dosage volumétrique asservi à la vitesse d'avancement.



MALAXAGE

FRAISEUSE



FRAISAGE

CAMION CITERNE



HUMIDIFICATION

ÉPANDEUR



ÉPANDAGE LIANT

PULVIMIXEUR



MALAXAGE

NIVELEUSE



RÉGLAGE

COMPACTEUR



COMPACTAGE

CITERNE ÉMULSION DE BITUME



PROTECTION DU MATERIAU TRAITÉ

Il consiste à mélanger intimement le ciment ou le liant hydraulique routier avec le matériau en place à l'aide d'un matériel spécifique (pulvimeur) pour obtenir un matériau homogène sur toute l'épaisseur et si possible sur toute la largeur. Dans ce dernier cas, l'opération doit être réalisée avec des machines perfectionnées (Respect du critère R1 ou R2). Le malaxage du matériau est réalisé sur une profondeur telle que, une fois le matériau compacté, on obtient l'épaisseur déterminée par le dimensionnement.



RÉGLAGE

FRAISEUSE



FRAISAGE

CAMION CITERNE



HUMIDIFICATION

ÉPANDEUR



ÉPANDAGE LIANT

PULVIMIXEUR



MALAXAGE

NIVELEUSE



RÉGLAGE

COMPACTEUR



COMPACTAGE

CITERNE ÉMULSION DE BITUME



PROTECTION DU MATERIAU TRAITE

Les niveleuses sont employées pour :

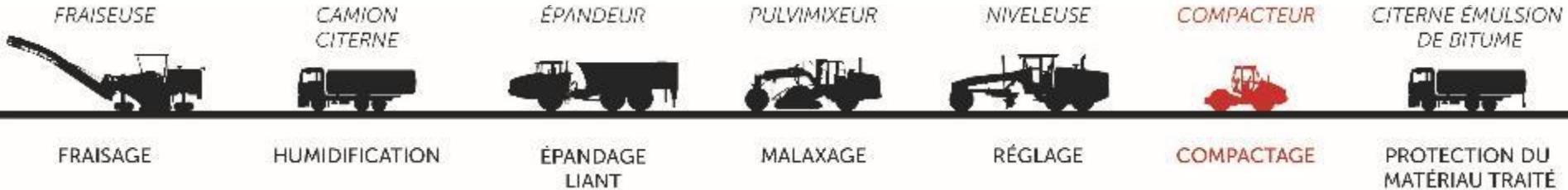
- le prérglage sur tous les types de chantiers ;
- le réglage final sur les chantiers courants (qui représentent la majorité des cas).

Sur les grands chantiers où les tolérances de nivellation sont très serrées, un micro-rabotage peut-être réalisé si nécessaire.

Ces machines peuvent être guidées par fil et capteurs ou par référence laser, suivant les objectifs de nivellation spécifiés.



COMPACTAGE



Deux types de compacteurs sont, en règle générale, nécessaires:

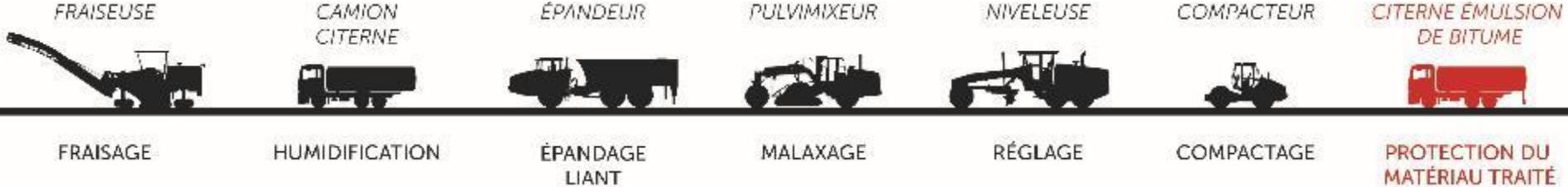
- Un compacteur mono-bille vibrant lourd pour assurer la densification du matériau en fond de couche,
- Un compacteur à pneus pour assurer la bonne fermeture du matériau en surface et garantir ainsi une bonne finition.

Deux qualités de compactage :

- Un compactage q1 caractérisé par la plus forte densification du matériau (masse volumique moyenne $\geq 100\%$ de l'OPM et masse volumique en fond de couche $\geq 98\%$ de l'OPM),
- Un compactage q2, moins puissant (masse volumique moyenne $\geq 97\%$ de l'OPM et masse volumique en fond de couche $\geq 95\%$ de l'OPM).



PROTECTION DU MATÉRIAUX TRAITÉ



La protection du matériau retraité est assurée par un enduit de cure. Elle est destinée à protéger la couche retraitée des intempéries, de l'évaporation de l'eau et du trafic. Elle doit être réalisée dans les plus brefs délais après la fin du compactage. Cette opération se déroule en deux étapes :

- **1ère phase** : arrosage modéré à l'eau de la surface après le passage du dernier rouleau,
- **2ème phase** : application d'une émulsion cationique de bitume au taux de 0,7 l/m², suivi d'un épandage de sable à raison de 3 kg/m².

Dans le cas d'une remise en circulation immédiate, une couche de roulement provisoire est réalisée.



POINTS D'ATTENTION PRÉALABLES

- Des chaussées à retraiter parfois hétérogènes :
 - Plusieurs types de matériaux rencontrés.
 - Nature géologique, propreté...
 - Choix d'un liant adapté
 - Beaucoup d'anciennes chaussées de type empierrement ($D > 80 \text{ mm}$)
 - Concasseur
 - Matériau sec
 - Arrosage préalable



MATÉRIEL

Matériaux existants dans l'ancienne chaussée

Scarification



Matériaux existant



MATÉRIEL

Epandage liant



Malaxage en place



**Malaxage et humidification
du matériau par injection
d'eau sous la cloche**



Compactage



Protection





CONTÔLES

- **Contrôles qualité**

Il est réalisé en deux étapes :

- Durant l'exécution,
- À la fin des travaux.



CONTRÔLES DURANT L'EXÉCUTION

- Qualité et quantité des matériaux,
- Teneur en eau,
- Dosage du liant,
- Homogénéité du mélange : visuel,
- Compacité,
- Epaisseur retraitée.



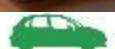
CONTRÔLES DE QUALITÉ APRÈS L'EXÉCUTION

- Contrôle de l'homogénéité du retraitement par déflexion, à l'âge de l'obtention de la résistance en compression requise.
- L'homogénéité est définie avec le calcul de la déflexion moyenne + 2 écarts-types. Les zones supérieures à ce seuil de déflexion sont analysées pour définir des actions correctives.

Essai de déflexion

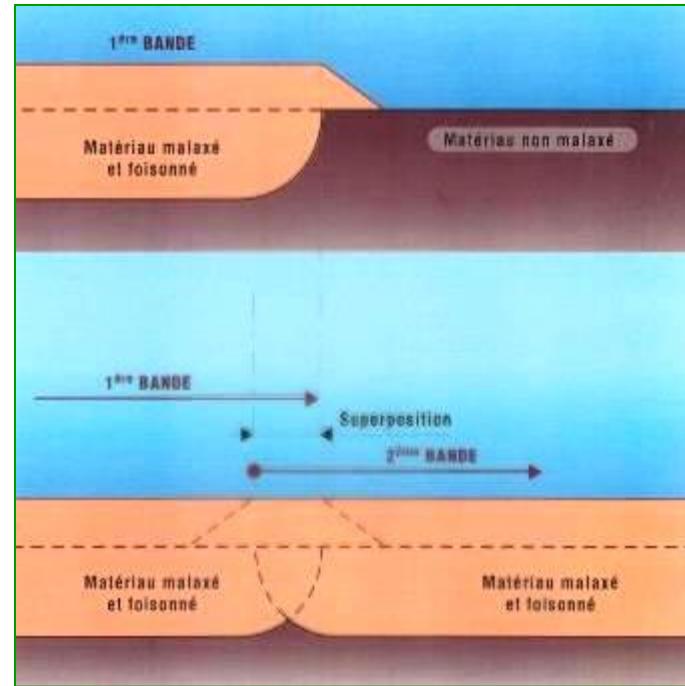
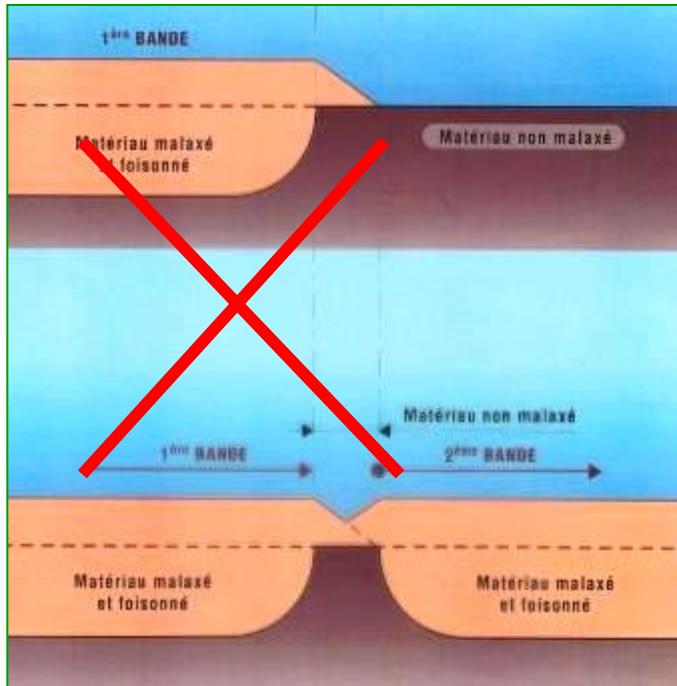


Essai mécanique



GESTION DES CONTRAINTES D'EXÉCUTION : LA RÉALITÉ DU TERRAIN

- **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 CONTRAINTES D'EXÉCUTION : LA RÉALITÉ DU TERRAIN

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



RETRAITEMENT DES CHAUSSÉES EN PLACE RETRAITEMENT MIXTE / LIANT COMPOSÉ

Christophe PRIEZ

COLAS



RETRAITEMENT LIANT COMPOSÉ PRINCIPE - DÉFINITION



1 - Principe de la technique
Objectifs et domaine d'emploi

1.1 - Historique - principe - définition

Historiquement, c'est dans le cadre d'études en laboratoire pour le restauration en place des chaussées existantes que l'importance du bitume dans les liants composés semble être mise. Dans ses études, il a été montré une claire amélioration des modèles en fonction de la part bitumineuse sans que le revêtement n'atteigne trop d'épaisseur. Ces caractéristiques ont été rapidement appliquées au chantier sans toutefois pour autant les recommandations.

C'est par la suite avec l'apparition de liants résistants, indépendants de l'apport bitumineux que les démonstrations d'application pratique, plus nombreuses et plus précises, ont montré que ces revêtements peuvent également être complétés par l'ajout d'un liant bitumineux.

Sur les chantiers effectués dans ces conditions, on constate que l'appartenance à l'ensemble des matériaux, conformément à la formulation des matériaux, aux liants hydrologiques, les revêtements sont portés à dire qu'ils appartiennent aux matériaux de construction, mais pas des revêtements à l'épaisseur ou à la qualité d'un revêtement.

Issue de l'association d'un liant hydrologique prépondérant sous forme d'asphalte et d'un liant hydrologique qui le contrebalancera ou le fixera hydrologiquement sous forme d'un apprêt bitumineux.

Les liants composés peuvent résulter de l'incorporation successive des deux matériaux dans le cœur gris ou un élément gris. Exemple : par élaboration préalable de ce revêtement gris.

Contrairement à l'ordre de fabrication, il existe une bonne séparation des constituants principaux, que l'on démontre lors de l'analyse.

Le traitements en place avec liants composés correspond à la technique de classe V décrite dans le chapitre 8 de la présentation du guide.

C'est une technique qui permet de recouvrir des surfaces de défaillances nécessitant une réfection totale.

Un avantage des revêtements en place avec liants composés est que leur application est assez rapide et facile sur plusieurs matériaux.

La principale caractéristique de ces revêtements est d'assurer le maintien et l'entretien dans l'apport bitumineux, nécessaire pour l'assainissement et l'activation du liant composé, les fondamentales de l'assainissement et l'amélioration des matériaux existants.

Ensuite, dans la mesure où ces revêtements doivent être posés, lorsque le matricage n'est pas suffisant, ce matricage va être apporté par un liant bitumineux.

Ces applications peuvent être réalisées par une ou plusieurs machines.

Les conditions de réalisation du revêtement sont multiples et conditionnées à de nombreux différents. Il faut garantir que le revêtement sera étanche et qu'il n'y ait d'effacement des caractéristiques de revêtement. Le processus de traitements doit évidemment que le revêtement soit à nouveau obtenu sous forme de démonstration.

Chaque type de revêtement

Combiner les avantages :

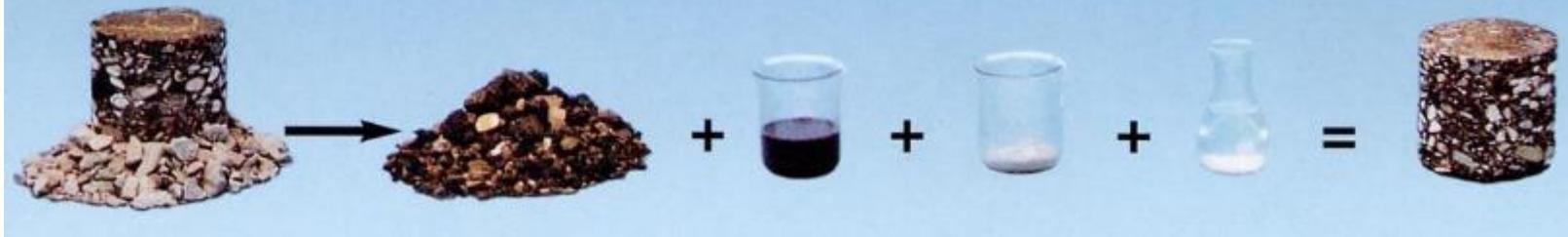
- Des liants hydrauliques
- Du bitume
 - De la **chaussée existante** (enduits, enrobés)
 - Apporter par des **agrégats d'enrobés recyclés**
 - Complété si besoin par une **émulsion bitumineuse** spécifique
- Résistance et ductilité
- Résilience climatique ?



RETRAITEMENT LIANT COMPOSÉ

PRINCIPE - DÉFINITION

Les matériaux utilisés lors du recyclage de matériaux routiers existants à l'aide d'une émulsion et de ciment



Ancienne
Chaussée

Structure
Décohésionnée

Emulsion
Bitumineuse

Ciment

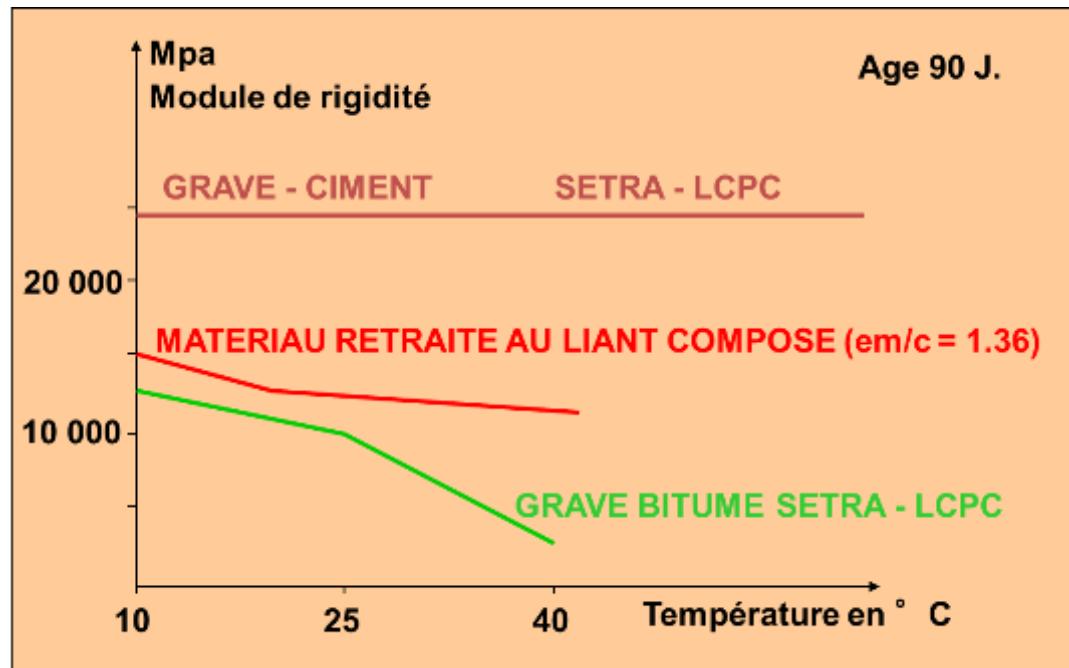
Eau

Couche de
Base de
haute
qualité



OBJECTIF

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



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



DOMAINE D'EMPLOI

Technique de classe V

Renforcement structurel.

Correction d'un défaut des couches de surface.



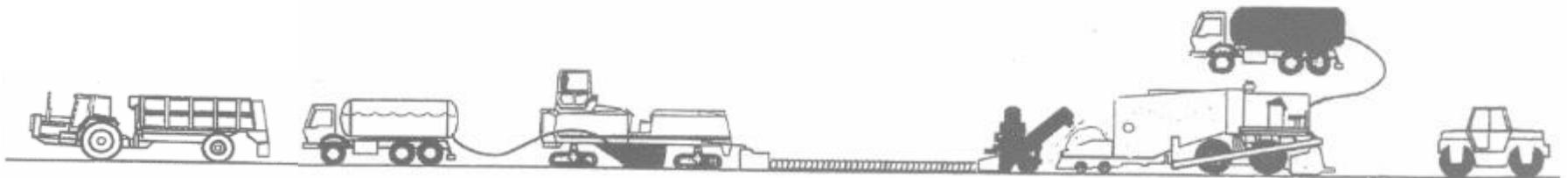
Couche de liaison, base ou fondation.

Epaisseur 10 à 15 cm jusqu'à 30 cm.

Tous trafics.



MISE EN ŒUVRE - MATÉRIEL



**Épandage
de liant**

Apport d 'eau

Fragmentation
Humidification

**Apport
d'émulsion**

Compacteur

Malaxage
Réglage
Pré compactage

- Qualité de retraitement R1
- Qualité de compactage q1



MISE EN ŒUVRE - MATÉRIEL

PULVIMIXEUR : engin Comportant une fraise faisant office de malaxeur :

- Malaxage uniquement vertical.
- Exemple : RACO 350, CATERPILLAR SM-350, WR 2500 SK (HEPIL : 23333).



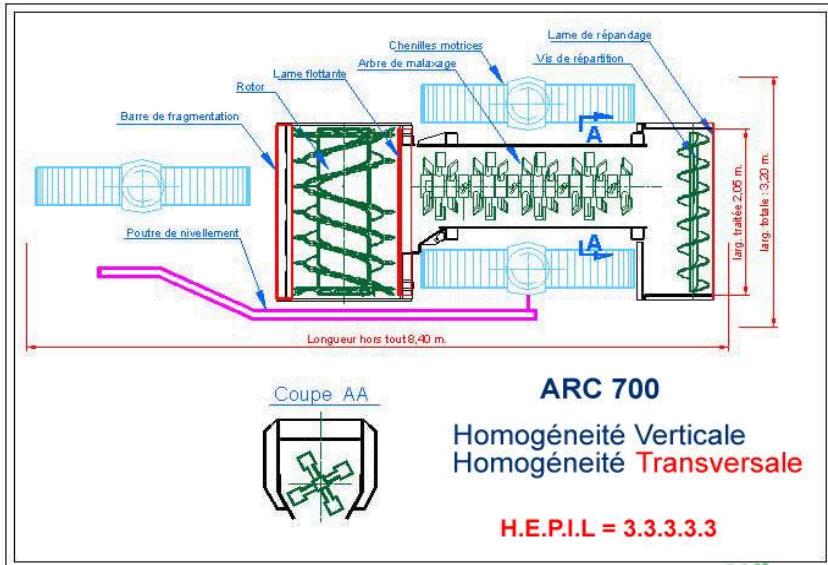
MISE EN ŒUVRE - MATÉRIEL

Atelier de reconditionnement : engin comportant une fraise et un malaxeur longitudinal séparés :

Malaxage vertical et dans le profil en travers.

Exemples : ARC 700 / ARC 1000, (LTV : 332, HEPIL : 33333).

Wirtgen WR 4200 (HEPIL : 33333) en location



AVANTAGES / INTÉRÊTS

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

Point-clé : Emulsion / Ciment



EXEMPLE DE CHANTIER

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

Maitre d'ouvrage : Conseil Général des Deux-Sèvres
Trafic estimé : 195 PL/J (TC4)

Structure existante : enrobé / GNT / sol support

Etude de formulation : $\sigma_6 = 0,60 \text{ MPa}$; $E = 9.100 \text{ MPa}$
Dosage : 4,5 % de ROLAC® 645 + 1,5 % d'émulsion



Structure RD 748 La Chapelle St Laurent



Compacteur Monobille





BILAN

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





QUESTIONS



MÉTHODE DE DIMENSIONNEMENT | MÉTHODE DE DIMENSIONNEMENT APPLIQUÉE AU RETRAITEMENT DES CHAUSSÉES | ÉTUDES
TECHNIQUES | DIMENSIONNEMENT DES STRUCTURES RETRAITÉES | **EXÉCUTION** | BIBLIOGRAPHIE



QUESTIONS

Deux questions sont souvent posées :

- Remise en circulation
- Fissuration



RÉPONSE QUESTION 1

Remise en circulation

- Pour les riverains : Immédiat
- Pour le trafic routier : attendre un délai de montée en résistance pour atteindre une résistance à la compression supérieure ou égale à 1,5 MPa (mesurée en laboratoire au moment de l'étude).
- Dans l'impossibilité d'attendre: mesure de la Déflexion immédiat qui doit être < 200/100 mm.



RÉPONSE QUESTION 2

Fissuration

La prise d'un liant hydraulique s'accompagne d'une fissuration dite de retrait. Cette fissuration est fonction de la nature du matériau traité,, de la nature du liant hydraulique, du dosage et du niveau du module de rigidité :

- Sol fin : Module inférieur à 10 000 MPa; fissuration fine
- Matériau graveleux (hors silico) : Module compris entre 10 000 et 20 000 MPa; fissuration modérée,
 - La présence de fraisats d'enrobés réduit le module et limite la fissuration de retrait.
- Matériau silico-calcaire: module supérieur à 25 000 MPa; fissuration franche.

Moyens permettant de limiter la fissuration :

- Nature et épaisseur de la couche de surface,
- Procédés limitant la remontée des fissures,
- Entretien de la fissuration par pontage.



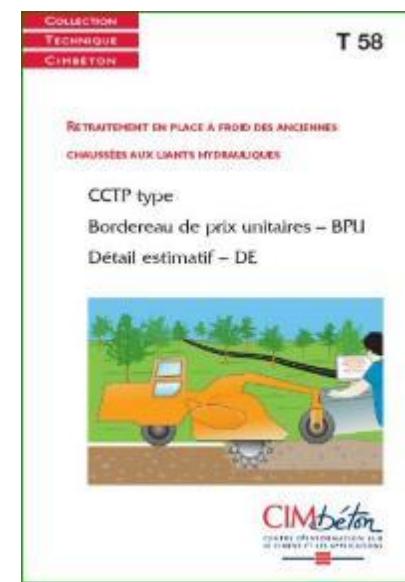
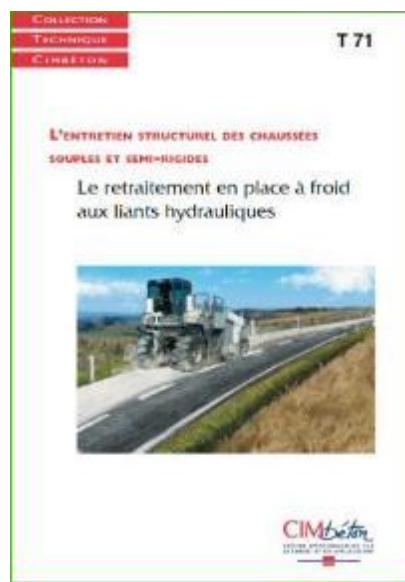
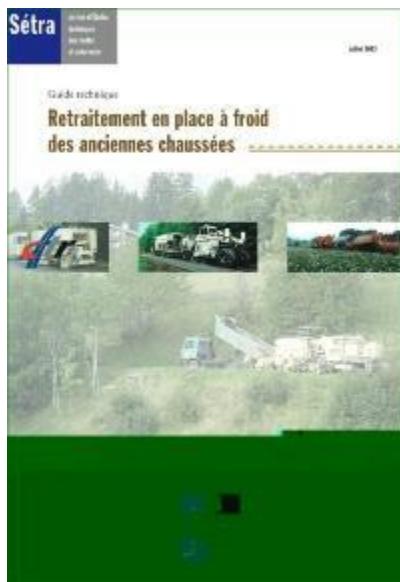


BIBLIOGRAPHIE



BIBLIOGRAPHIE

- *Guide Technique Retraitement en place des anciennes chaussées – SETRA/LCPC – 2003.*
- *L'entretien structurel des chaussées souples et semi-rigides – Le Retraitement en place à froid aux liants hydrauliques – CIMBETON, 2014.*
- *Retraitement en place à froid des anciennes chaussées aux liants hydrauliques – CCTP-Type, CIMBETON, 2008.*



LES VOIES DE PROGRÈS

Passent par le nouveau site internet dédié aux techniques de valorisation des matériaux en place à froid aux liants hydrauliques :

www.infociments.fr

Ihr.cimbeton.net

The screenshot displays the main page of Ihr.cimbeton.net. At the top left, there's a sidebar for 'LES PROCHAINES JOURNÉES TECHNIQUES' listing events in Lille, Lyon, Cormeilles, Rennes, Bordeaux, Paris, Bourges, and a 'Spécial Retraitement'. Below this is a 'Comment s'y rendre?' section. The main content area features the 'CIMbéton' logo and the title 'LES LIANTS HYDRAULIQUES POUR LA VALORISATION DES MATERIAUX EN PLACE'. It includes a sub-section 'JOURNÉES TECHNIQUES' with links to 'Introduction', 'Le programme de la journée', 'Les prochaines journées techniques', and 'Organiser ma Journée ?'. A 'CHANTIER' section with a video player is also present. To the right, there's a search bar, a green box for 'Découvrez la bande annonce du film', another for 'Organisez votre propre journée !', and a large red-bordered 'FORMULAIRE D'INSCRIPTION' for organizing a technical day. The bottom of the page features decorative icons of a car, trees, and people.

MERCI POUR VOTRE ATTENTION

