



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

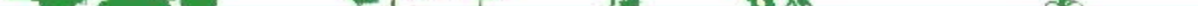
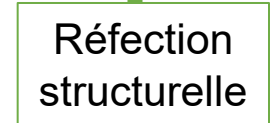
■ Dégradations structurelles

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

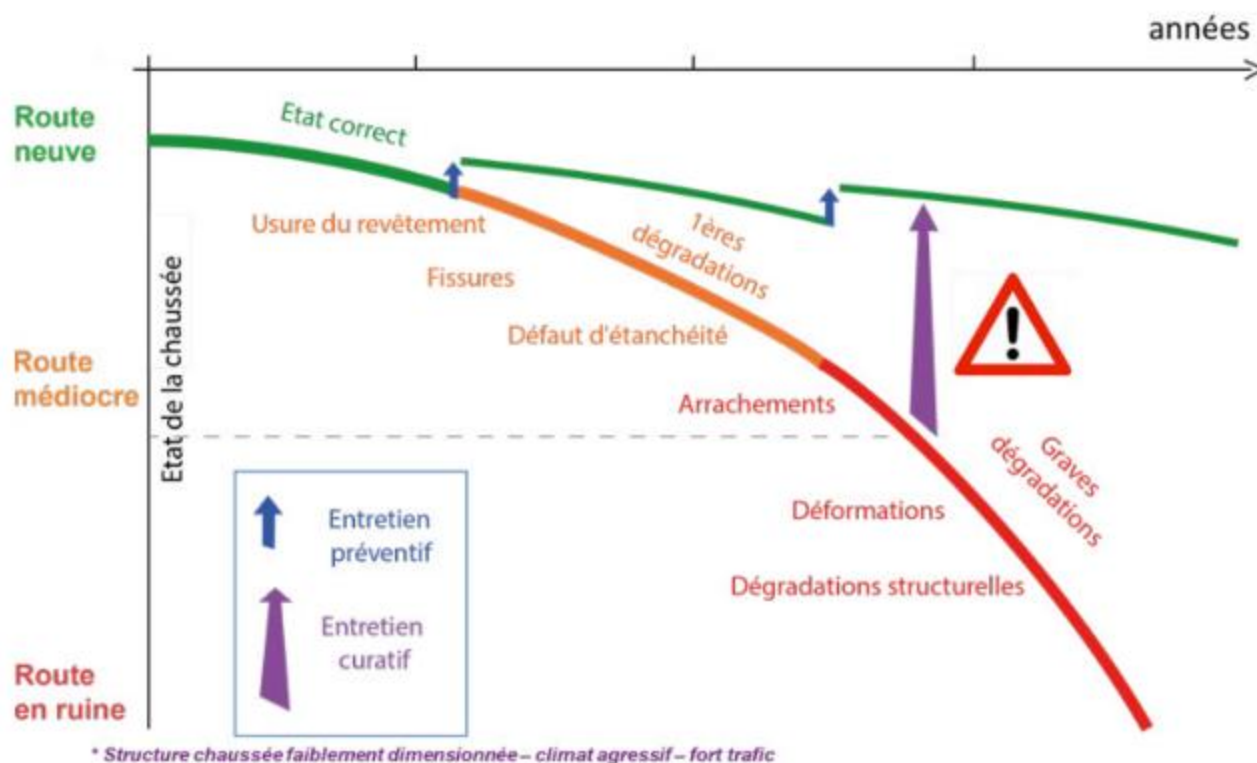


Ces dégradations doivent être traitées avec des **techniques adaptées**.





ENTREtenir AU BON MOMENT À PARTIR DU BON DIAGNOSTIC



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



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.**

■ Retraitement 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 : Retraitement structural d'un chemin forestier (Chamonix) et d'une route départementale à Crèvecœur-le-Grand (59)

Exemple : Retraitement couche de fondation voie lente Autoroute A10 à Poitiers (Depuis 1985)



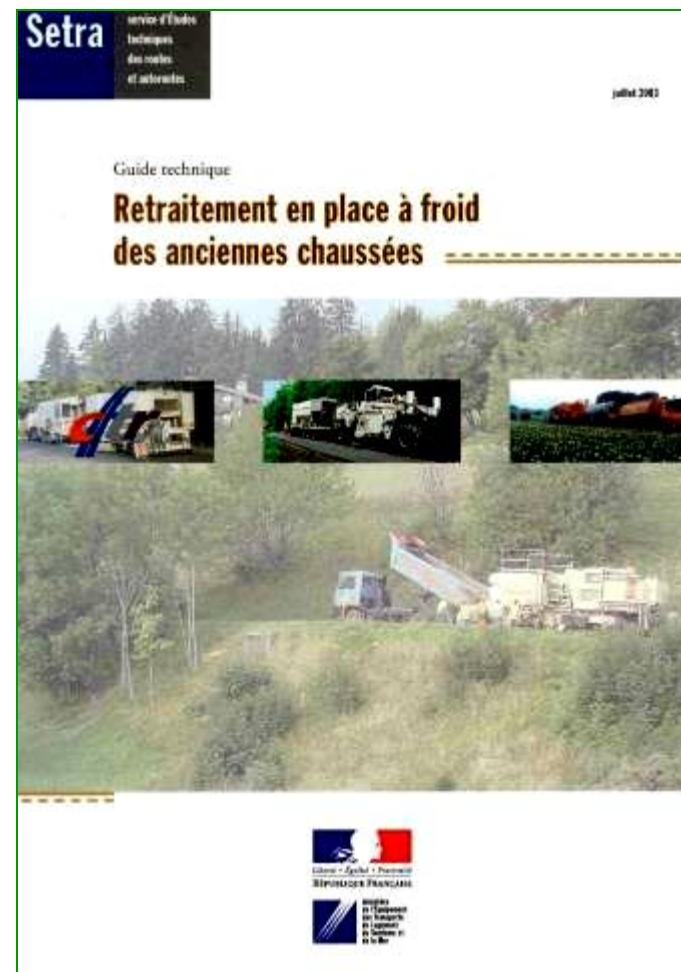
AVANTAGES

- **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



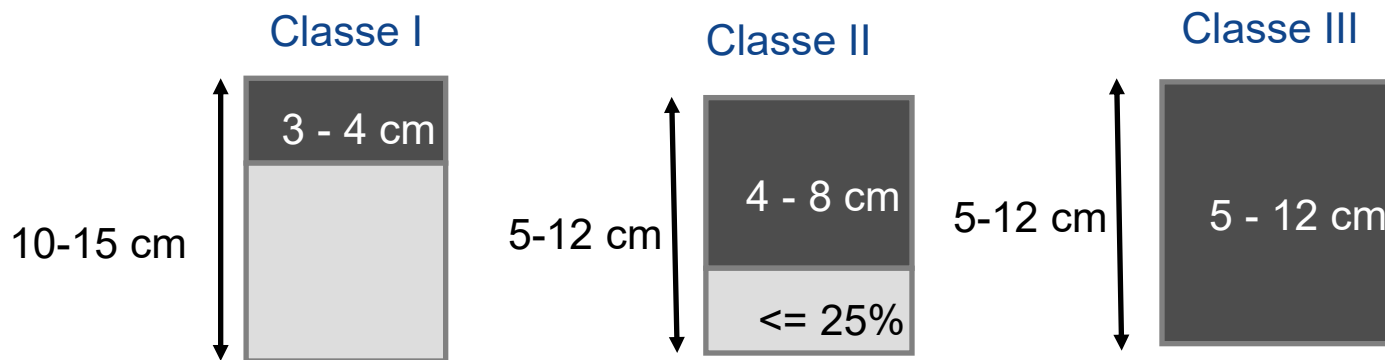
AVANT



APRÈS



LES DIFFÉRENTES CLASSES



Objectif	Renforcement Struct.		Rénovation des couches de surface
Type de bitume	Bitume pur		Bitume pur ou de régénération
Bitume d'ajout	3 à 5%		1 à 3%
			jusqu'à 2%
Epaisseur de la couche retraitée	10 à 15 cm		5 à 12 cm
			5 à 12 cm

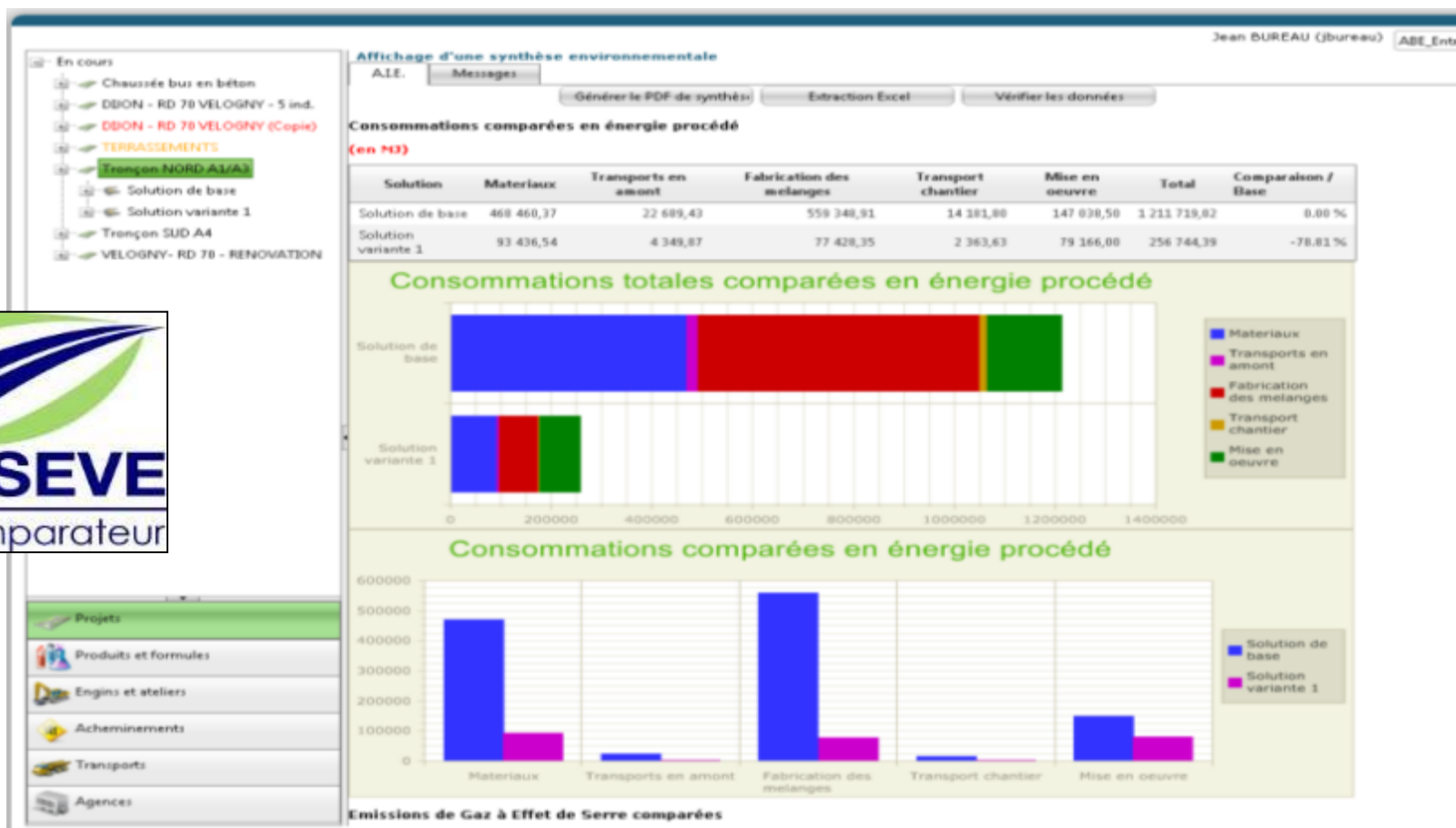


LES PERSPECTIVES

- 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 ...





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.

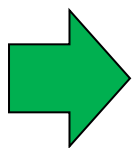


AVANTAGES

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)

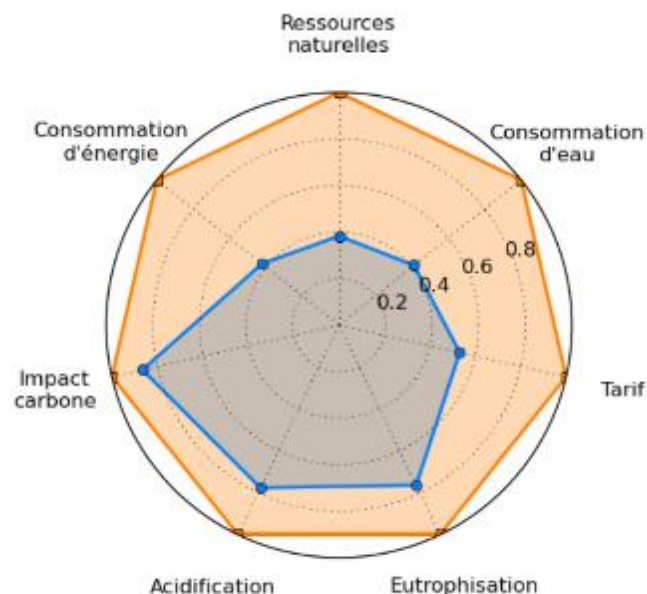


AVANTAGES

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	
Quantité de liant	✓
Fabrication et transport du liant	✓
Mise en oeuvre couche retraitée	✓
Epaisseur couche retraitée	✓
Fabrication et transport mat. surface	✓
Mise en oeuvre mat. surface	✓
Résultat	

Technique routière : retraitement des chaussées en place vs renforcement

[Exports](#) 

Comparaison des deux méthodes

Retraitement des chaussées en place	Renforcement
Quantité de liant : Valeurs par défaut Matériau : Matériau compact ou traité	Décaissement : Valeurs par défaut Épaisseur de la couche à raboter : 10.0 cm Machine de rabotage : Caractéristiques par défaut
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
Mise en oeuvre couche retraitée : Valeurs par défaut Tarif : 6.0 €/m ³ Matériau en place : Matériau compact ou traité	Fabrication et transport mat. base : Valeurs par défaut Type de matériaux : Grave bitume GB3 Moyen transport : Camion 44t charge utile 25t
Epaisseur couche retraitée : 35.0cm	Distance : 40.0 km Tarif du matériau de base : 60.0 €/t
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 : Grave bitume
Mise en oeuvre mat. surface : Valeurs par défaut Tarif : 6.0 €/m ² Type de matériaux : BB ou BBSG 6 cm	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
	Mise en oeuvre mat. surface : Valeurs par défaut Tarif : 6.0 €/m ² Type de matériaux : BB ou BBSG 5 cm

Renforcement	
Décaissement	✓
Fabrication et transport mat. base	✓
Mise en oeuvre base	✓
Epaisseur couche de base	✓
Fabrication et transport mat. surface	✓
Mise en oeuvre mat. surface	✓
Résultat	

Comparaison

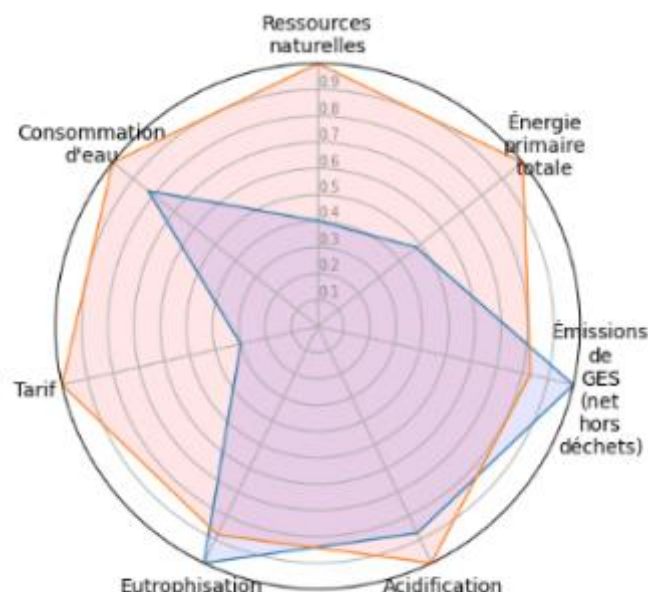
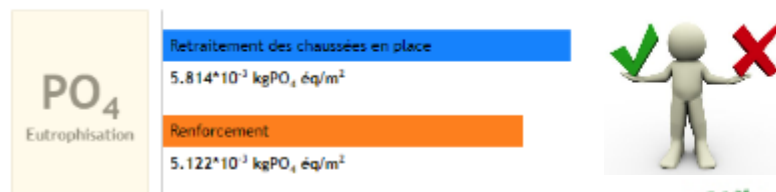
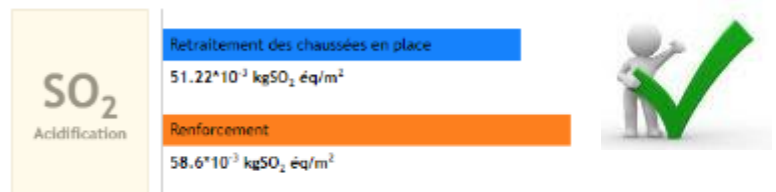
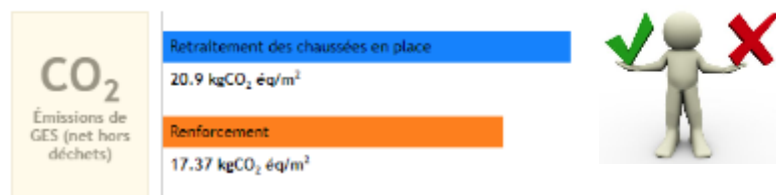
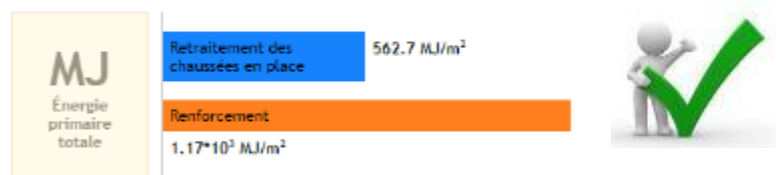
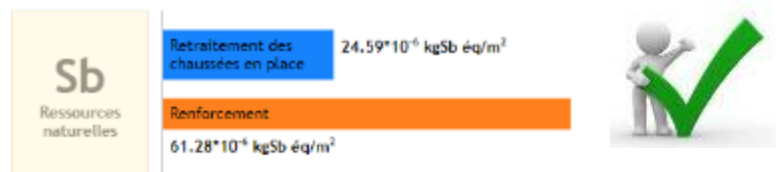
Hypothèses :

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



AVANTAGES

RETRAITEMENT Vs RENFORCEMENT **LHR L40**



AVANTAGES

RETRAITEMENT Vs RENFORCEMENT LHR S70

Sb

Ressources naturelles

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

Renforcement

$61.28 \cdot 10^{-6}$ kgSb éq/m²



MJ

Énergie primaire totale

Retraitement des chaussées en place 539.9 MJ/m²

Renforcement

$1.17 \cdot 10^3$ MJ/m²



CO₂

Émissions de GES (net hors déchets)

Retraitement des chaussées en place

14.56 kgCO₂ éq/m²

Renforcement

17.37 kgCO₂ éq/m²



SO₂

Acidification

Retraitement des chaussées en place $38.87 \cdot 10^{-3}$ kgSO₂ éq/m²

Renforcement

$58.6 \cdot 10^{-3}$ kgSO₂ éq/m²



PO₄

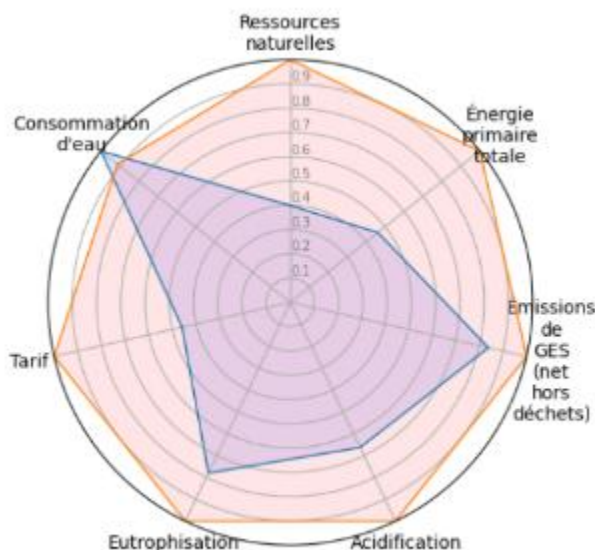
Eutrophisation

Retraitement des chaussées en place

$3.997 \cdot 10^{-3}$ kgPO₄ éq/m²

Renforcement

$5.122 \cdot 10^{-3}$ kgPO₄ éq/m²



H₂O

Consommation d'eau

Retraitement des chaussées en place

62.66 litre/m²

Renforcement

57.2 litre/m²



AVANTAGES RETRAITEMENT Vs RENFORCEMENT

3. Sur le plan sociétal :

- Moindre gêne de l'utilisateur :
 - 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 CHAUSSEES



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	≥ T0
			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	≥ TC6
	0,2.10 ⁶	0,5.10 ⁶	1,5.10 ⁶		2,5.10 ⁶	6,5.10 ⁶	> 17,5.10 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 déflexion sur l'ancienne chaussée.
- Les modules des couches d'assises en place : Retro-calcul issu des mesures de FWD.

Défectographe



FWD



Essai à la Plaque



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 ≤ 40 et MDE ≤ 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 **L**ongitudinale,
 - **T** : Homogénéité **T**ransversale,
 - **V** : Possibilité de faire **V**arier la largeur d'épandage.

- Coefficient **HEPIL** de qualification des **matériels de malaxage** :
 - **H** : **H**omogénéisation du matériau avec le ou les liants,
 - **E** : Maîtrise de l'**E**paisseur traitée,
 - **P** : **P**uissance du rotor,
 - **I** : Présence d'un dispositif d'**I**njection d'eau,
 - **L** : Dosage de Liant sous forme **L**iquide.

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

Epandeur	L			
	T		seulement si H=3	
	V			

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
H	H			
	E			
	P			
	I			
	L			

L	L			
	T		seulement si H=3	
	V			

Compactage : qualité q_2

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



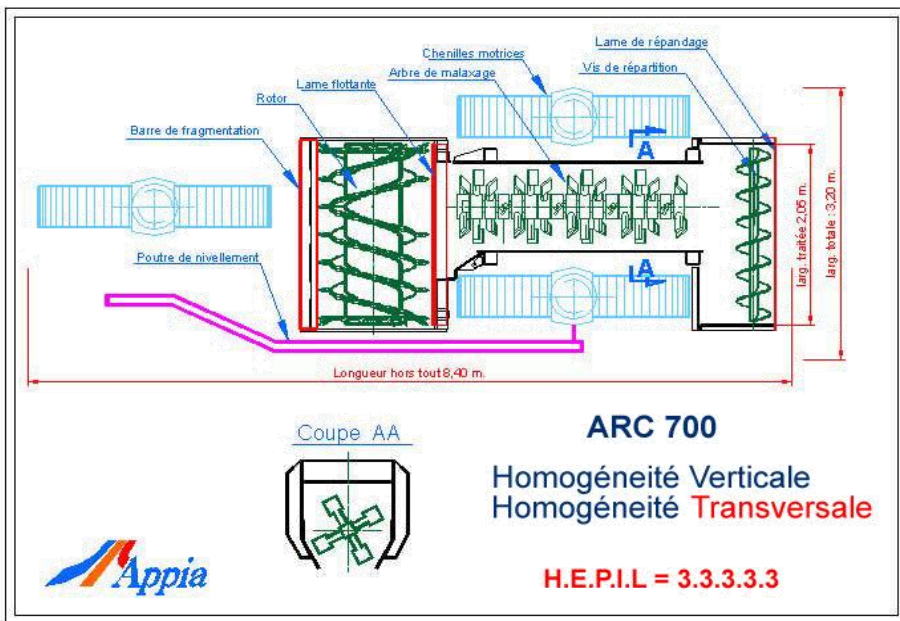
PULVIMIXEURS

- 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

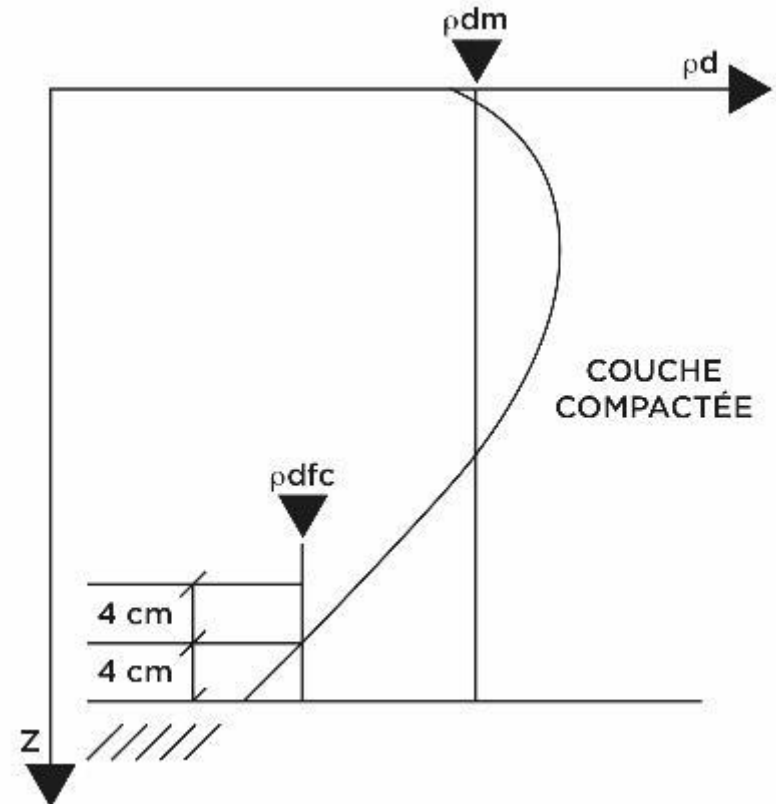
Niveau de compactage

■ 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, purgés, 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 $T \leq 150 \text{ PL/j}$
q1	$P_m = 100\% \cdot \rho_{OPM}$	$P_{fdc} = 98\% \cdot \rho_{OPM}$	Objectif base si $T > 150 \text{ PL/j}$ 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** : **systematique** 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).

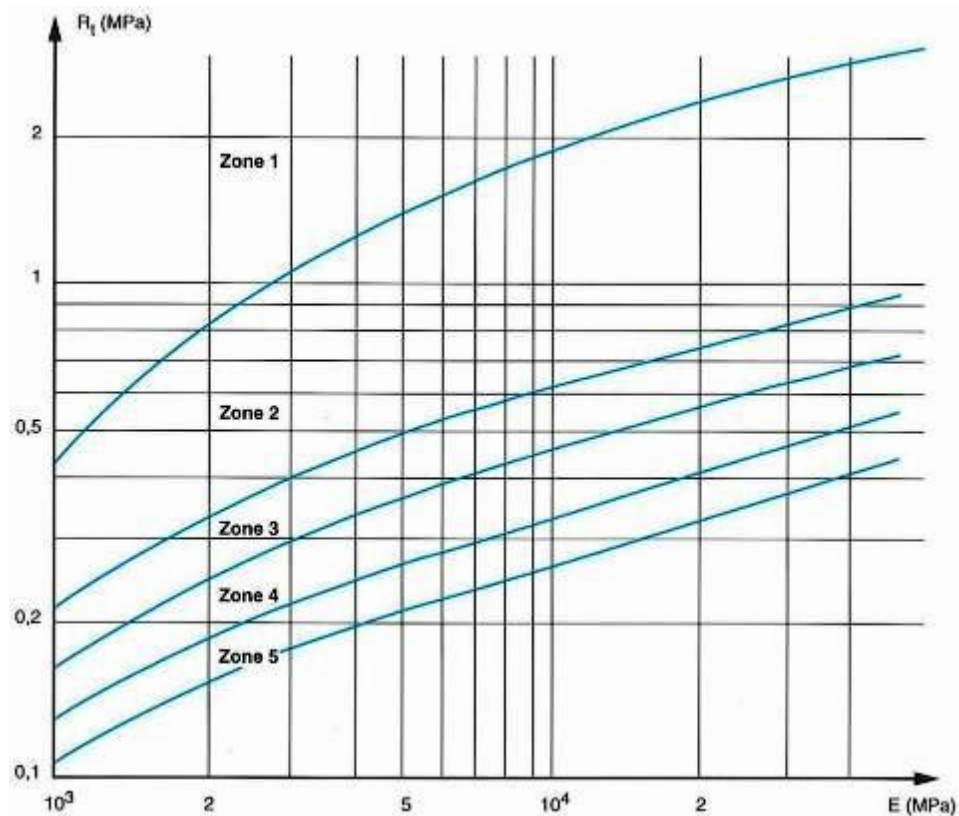
Liant	Âge	R _t / R _{t360}	E _t / E _{t360}
LHR *	60 j	0,78	0,82

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) :

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

DIMENSIONNEMENT DES STRUCTURES RETRAITÉES



DÉTERMINATION DE L'ÉPAISSEUR DE LA STRUCTURE RETRAITÉE

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

Fiche : R1 M1			
Durée de vie = 20 ans ; accroissement trafic= 2%			
Portance support MPa Trafic en nombre de PL par sens	50	80	120
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
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)



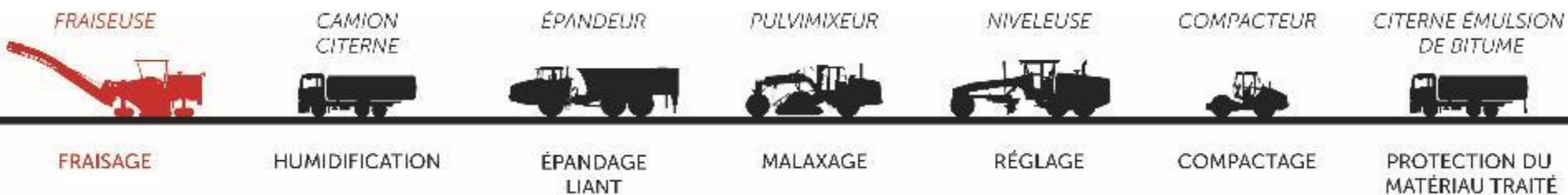
EXÉCUTION



EXÉCUTION

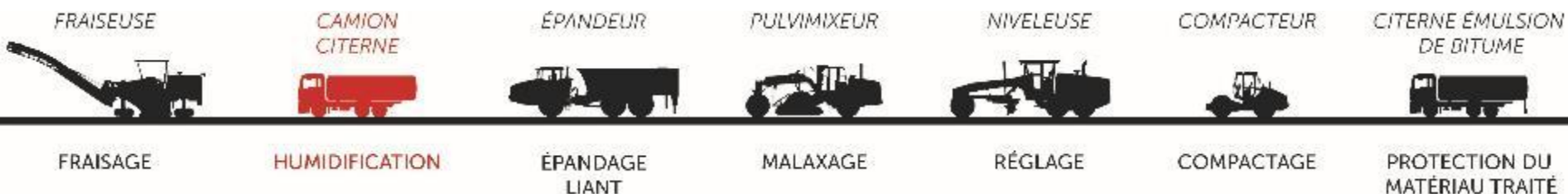


FRAISAGE



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

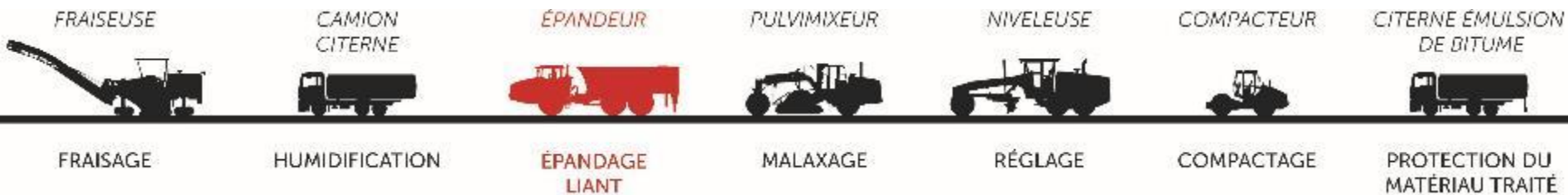
HUMIDIFICATION



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



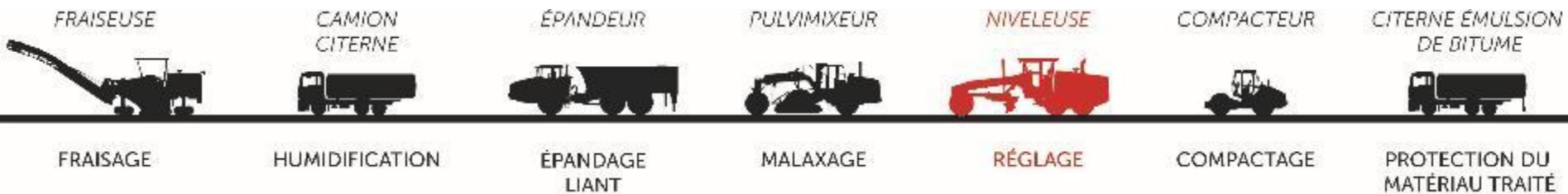
L'opération doit être menée soigneusement afin d'épandre sur le chantier la quantité exacte de liant définie par l'étude du laboratoire (kg/m^2). Cette opération est réalisée à l'aide d'un épandeur doté d'un système de dosage volumétrique asservi à la vitesse d'avancement.

MALAXAGE



Il consiste à mélanger intimement le ciment ou le liant hydraulique routier avec le matériau en place à l'aide d'un matériel spécifique (pulvimixeur) 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



Les niveleuses sont employées pour :

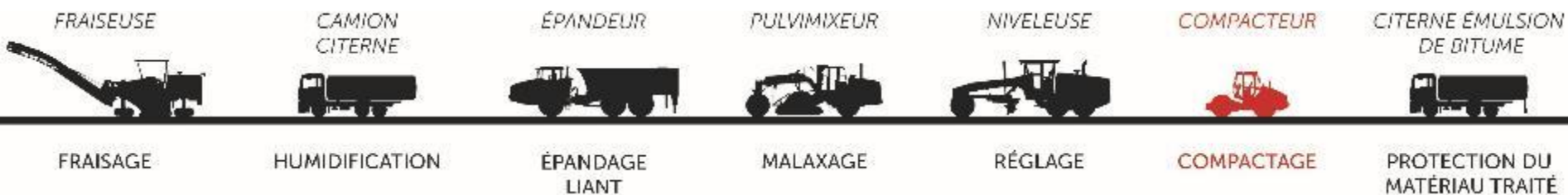
- le préréglage sur tous les types de chantiers ;
- le réglage final sur les chantiers courants (qui représentent la majorité des cas).

Sur les grands chantiers où les tolérances de nivellement 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 nivellement spécifiés.

.

COMPACTAGE



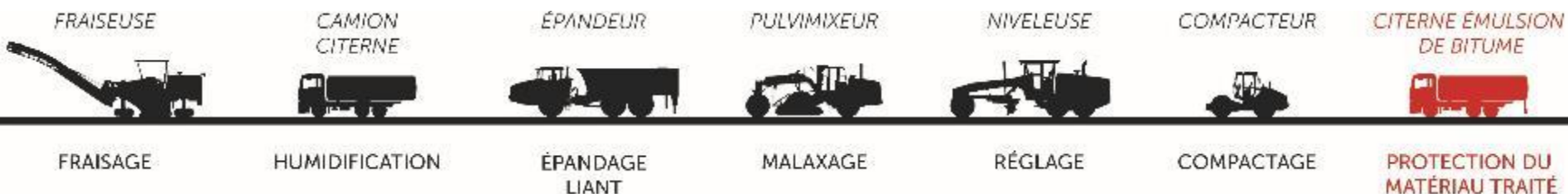
Deux types de compacteurs sont, en règle générale, nécessaires:

- 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 ≥ 100 % de l'OPM et masse volumique en fond de couche ≥ 98 % de l'OPM),
- Un compactage q2, moins puissant (masse volumique moyenne ≥ 97 % de l'OPM et masse volumique en fond de couche ≥ 95 % de l'OPM).

PROTECTION DU MATÉRIAU 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 PREALABLES

- 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 empierrément ($D > 80 \text{ mm}$)
 - Concasseur
 - Matériau sec
 - Arrosage préalable





MATÉRIEL

Matériau existant dans l'ancienne chaussée

Scarification



Matériau existant





MATÉRIEL

Epandage liant



Malaxage en place



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



Compactage



Protection





CONTRÔLES

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

Essai de déflection

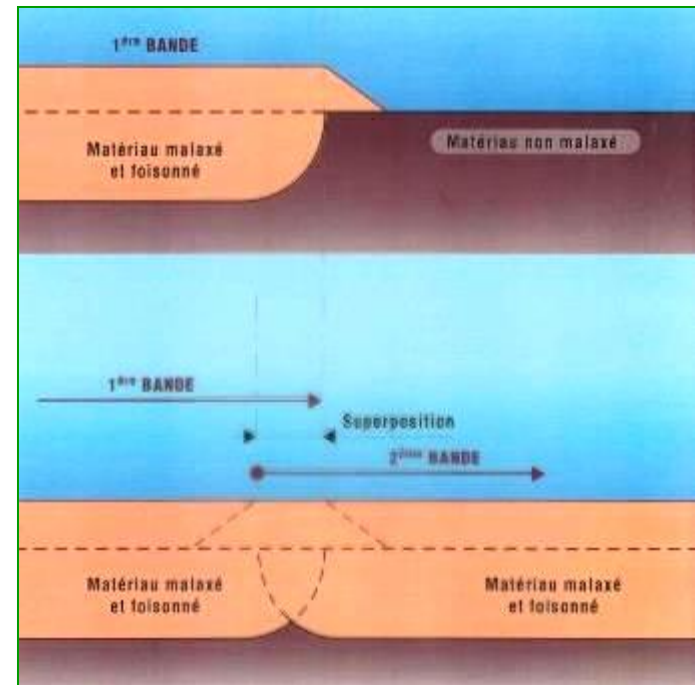
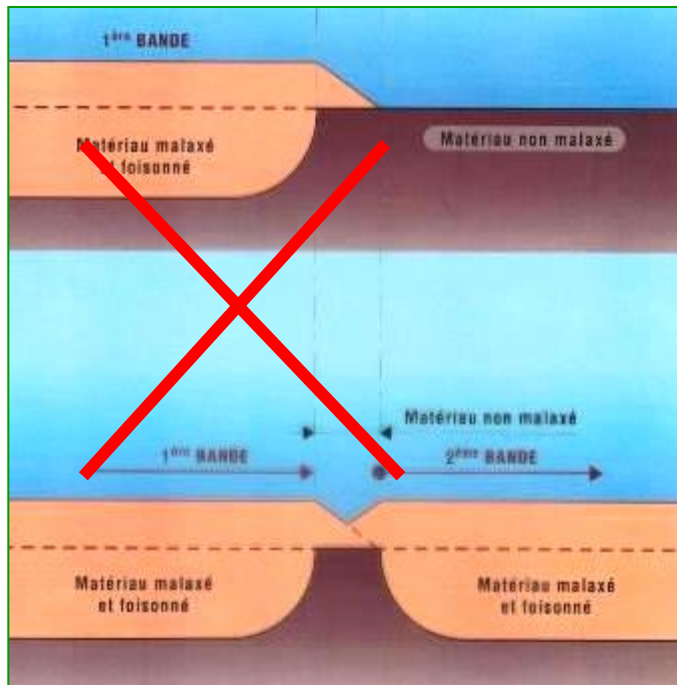


Essai mécanique



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





1.1 - Historique - principe - définition

[illegible]

C'est parce que vous avez de la chance d'être pas marié, car les valeurs de l'épouse de la coupe la deuxième de l'union est élevée, que les conditions comparables aux le couple ont de moins en moins plus souvent un complément de l'union par le biais d'une machine.

Sur les chantiers réalisés dans ces conditions, on observe qu'il est apparu de l'insécurité ou obédience au meilleur comportement à la formation des maitres-muriers ou des techniciens. En conséquence, on peut ainsi dire qu'un aspect est une amélioration du comportement des maitres-muriers, des techniciens et l'efficacité de l'opération en leur comportement.

Intesa di "consolidazione" d'una forma internazionalmente approvata, ma senza il consenso di due Stati, ha dato luogo a due tipi di reazioni: da un lato, le reazioni negative, da parte dei paesi che non hanno accettato la soluzione; dall'altro, le reazioni positive, da parte dei paesi che hanno accettato la soluzione, con alcune note appioppate ai paesi oppositori.

Les liens corporels jouent un rôle de l'importance capitale dans le développement du corps grandissant ou dans celui de l'adulte par l'entretien préalable de sa propre santé.

C'est vers cet Émirat de l'émancipation, en 1933, que l'homme a été nommé à la tête du conseil municipal de Paris, que l'on a nommé le 1933, le 1933, le 1933.

Les traitements en place aux États-Unis correspondent à la technique de du stage V (taille que défini dans le chapitre 5 de la publication du guide).

C'est une technique qui permet de résoudre des problèmes de diffusion semi-infinis aux conditions de surface.

L'indication des sources de renseignements se place au bas de chaque entrée, celle des renseignements complémentaires (références) à la fin de l'ouvrage.

[illegible]

surface, dans la mesure où cet axe ne permet pas de varier la surface peyée, lorsque le trafic sera croissant, il y aura un accroissement de la surface peyée, ce qui est contraire au principe de la surface peyée constante.

Our operations produce (1) a solution for one or
 greater number of machines.

Les conditions de réalisation de ces instruments sont multiples et variables selon quelques différences. Il est important que le reader d'un questionnaire dispose d'un accès à l'ordinateur du laboratoire pour saisir les données et les transférer de la qualité de l'instrument qu'il sera obtenu (ou à l'inverse dans son étude, de l'instrument existant).



© 2004 Blackwell Publishing Ltd *Journal of Internal Medicine* 255: 103–110

- 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

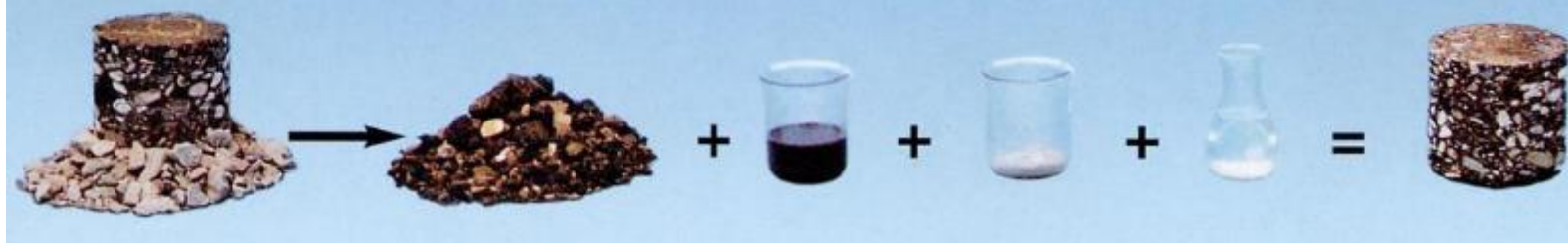
→ Résilience climatique ?



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

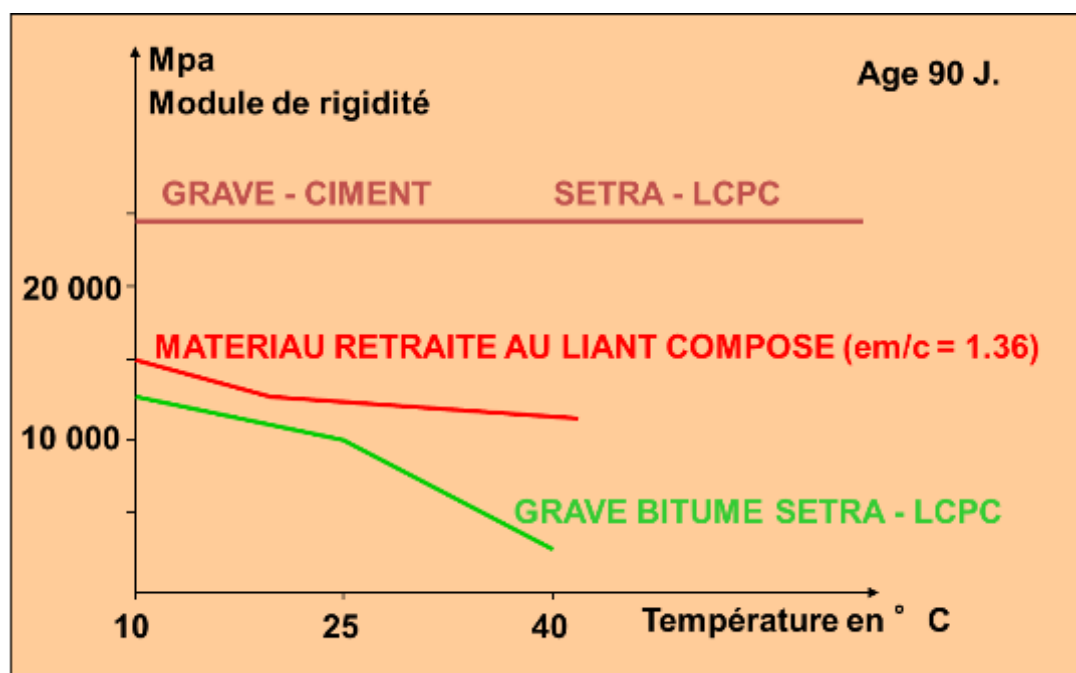
Eau

Couche de
Base de
haute
qualité



OBJECTIF

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



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



DOMAINE D'EMPLOI

Technique de classe V

Renforcement structurel.

Correction d'un défaut des couches de surface.

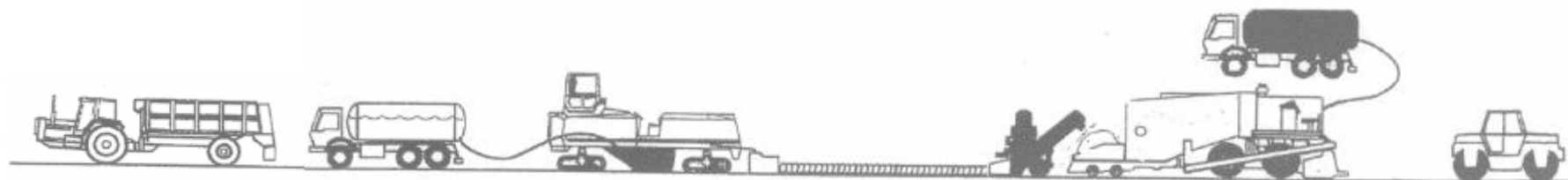
Couche de liaison, base ou fondation.

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).



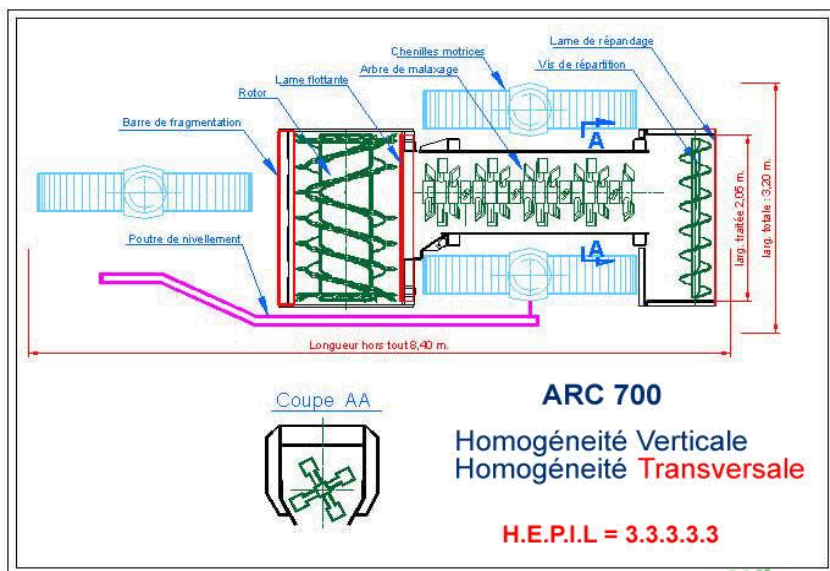
MISE EN ŒUVRE - MATÉRIEL

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





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 lu 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 limité 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.

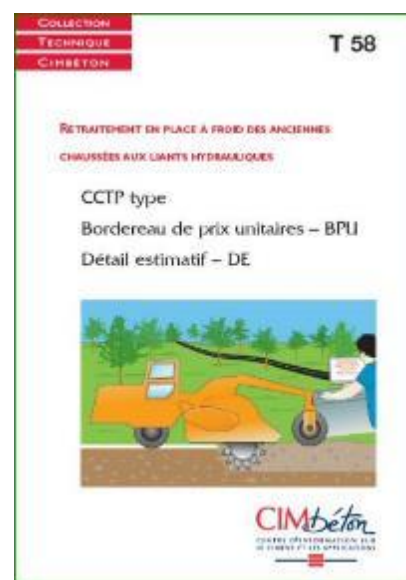
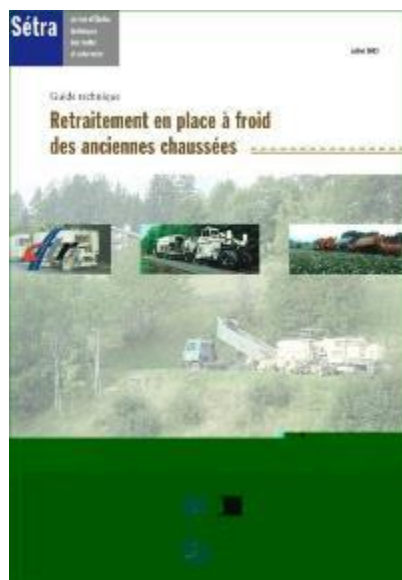


BIBLIOGRAPHIE



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

lhr.cimbeton.net

LES PROCHAINES JOURNÉES TECHNIQUES

Lille (59)	21 mars 2013
Lyon (69)	16 avril 2013
Spécial Retraitement	
Colmar (68)	30 mai 2013
Spécial Retraitement	
Rennes (35)	27 juin 2013
Spécial Retraitement	
Bordeaux (33)	19 septembre 2013
Spécial Retraitement	
Paris (75)	24 octobre 2013
Bourges (18)	21 novembre 2013
Spécial Retraitement	

>> Comment s'y prendre ?
 >> Programme de la journée
 >> S'inscrire



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

Pour limiter l'utilisation des matériaux nobles dans la construction et l'entretien des infrastructures de transport et réduire ainsi les impacts générés par leur transport, l'approche proposée s'appuie sur le fait qu'il est possible aujourd'hui de considérer les matériaux des sites à aménager ou à entretenir comme un gisement que l'on peut valoriser par un traitement approprié, aux ciments ou aux liants hydrauliques routiers.

On distingue deux grandes filières de valorisation :

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

Les journées, organisées par Cimbéton et ses partenaires, se proposent de donner un éclairage complet sur ces deux filières, en traitant les aspects techniques, réglementaires, économiques et environnementaux.

Découvrez la bande annonce du film

Organisez votre propre journée ! > cliquez ici



Formulaire d'inscription

Prénom :

Nom :

Profession :

Organisme :

Adresse :

Code postal :

Ville :

Téléphone :

E-mail :

Site web :

Autres coordonnées :

Je souhaite recevoir la brochure d'information sur les journées techniques

Date : / /

Je soussigné(e) certifie que les informations fournies sont exactes et complètes

Signature :



MERCI POUR VOTRE ATTENTION

