

Guide technique

Retraitement en place à froid des anciennes chaussées



Liberté • Egalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE



ministère
de l'Équipement
des Transports
du Logement
du Tourisme et
de la Mer

Page laissée blanche intentionnellement

Guide technique

Retraitement en place à froid des anciennes chaussées

Edité par le Setra, réalisé par le Comité français pour les techniques routières (CFTR)

Le CFTR est une structure fédérative qui réunit les différentes composantes de la communauté routière française afin d'élaborer une doctrine technique partagée par tous et servant de référence aux professionnels routiers dans les domaines des chaussées, des terrassements et de l'assainissement routier.

Membres du CFTR : Assemblée des Départements de France – Association des Sociétés Françaises d'Autoroutes – Association Technique de l'Industrie des Liants Hydrauliques – Centre Technique et de Promotion des Laitiers Sidérurgiques – Chambre Syndicale Nationale des Fabricants de Chaux-Grassés et Magnésiennes – Comité Infrastructure de Syntec Ingénierie – Direction des Routes – Direction de la Sécurité et de la Circulation Routières – Groupement Professionnel des Bitumes – LCPC – Setra – Syndicat des Matériels des Travaux Publics et de la Sidérurgie – Syndicat Professionnel des Entrepreneurs de Chaussées en Béton et Equipements Annexes – Syndicat des Terrassiers – Union Nationale des Producteurs de Granulats – Union des Syndicats de l'Industrie Routière Française.

Association régie par la loi du 1^{er} juillet 1901 depuis juin 1998,
le CFTR est doté d'un secrétariat permanent assuré par le Setra.
Son siège est localisé au :
46 avenue Aristide Briand - BP 100 - 92225 Bagneux Cedex - France
téléphone : 33 (0)1 46 11 31 53 - télécopie : 33 (0)1 46 11 36 96
mél : cftr@i-carre.net
intranet : <http://intra.setra.i2/clubs/cftr.shtml>
internet : www.cftr.asso.fr

collection les outils

Page laissée blanche intentionnellement

Sommaire

Présentation du guide

5

Livret I - Liants hydrocarbonés

29

Livret II - Liants hydrauliques

49

Livret III - Liants composés

75

Mme Gaétana Quaranta et M. Maurice Lefort ont collaboré à la rédaction de cette partie "présentation du guide", avec la participation de l'ensemble du groupe de travail.

Présentation du guide



Sommaire

1 - Introduction	7
2 - Le retraitement en place - Une technique d'entretien et de réhabilitation des structures	8
2.1 - Définition	8
2.2 - Avantages et limites de la technique	8
2.3 - Domaine d'emploi	9
3 - Classification des retraitements en place	10
4 - Choix de la technique d'entretien ou de réhabilitation	12
4.1 - Cas de travaux définis avec étude minimale de diagnostic	12
4.2 - Cas de travaux avec étude de diagnostic approfondie et définition des solutions de travaux	12
4.3 - Synthèse	13
5 - Conception du projet	14
5.1 - Les différentes structures réalisées par retraitement	14
5.2 - La démarche de dimensionnement	14
6 - Les matériels	16
6.1 - Les fonctions des matériels pour un chantier de retraitement	16
6.2 - Critères de performances des matériels de retraitement	17
6.3 - Exemples de composition d'ateliers de retraitement	19
7 - Contrôles	22
Glossaire	23
Références bibliographiques et normatives	26

Page laissée blanche intentionnellement



Valorisation de matériaux locaux sur
l'autoroute du nord en 1960
"retread process - Vogèle/Beugnetofer".

1 - Introduction

La prise en compte de l'amélioration du cadre de vie et de la protection de l'environnement, les nouvelles réglementations et taxes concernant la mise en décharge (loi pour la gestion des déchets de 2002), la raréfaction des ressources naturelles dans certaines régions, leur éloignement des chantiers, l'augmentation des coûts de transport sont autant de facteurs qui orientent l'entretien et la réhabilitation des chaussées vers des techniques économes en granulats d'apport et en énergie.

Dans ce contexte, il devient nécessaire de s'attacher à recycler les matériaux, c'est-à-dire de valoriser les matériaux présents dans la chaussée en les réutilisant.

Le retraitement en place fait partie des techniques de recyclage.

Dès 1950, le procédé de "retread process" a été utilisé pour valoriser des matériaux locaux.

Ce guide comprend cette présentation, qui souligne les points communs entre les différentes techniques et traite à ce titre :

- de la classification des retraitements en place à froid des anciennes chaussées,
- des études préalables nécessaires y compris la manière d'aborder le dimensionnement,
- des matériels tels qu'ils existent sur le marché,
- des contrôles.

Il comprend également, pour chaque nature de liant utilisé, un livret technique qui s'articule en cinq grands chapitres :

1 - Le principe de la technique :

objectifs et domaines d'emploi, avantages et limites.

2 - Les études :

pour guider le lecteur dans la réalisation du diagnostic d'état de la chaussée existante, dans la caractérisation des matériaux en place, dans l'étude de faisabilité et de formulation, dans le dimensionnement.

3 - Les matériels :

les différents matériels disponibles et leur fonctions sont présentés.

4 - Les modalités d'exécution :

pour rappeler les règles de l'art à respecter pour l'exécution du chantier.

5 - Les contrôles :

en relevant les opérations de contrôle aux divers stades du chantier, de la préparation à la réception des travaux.

2 - Le retraitement en place

Une technique d'entretien et de réhabilitation des structures

2.1 - Définition

Lorsqu'une chaussée n'a plus la qualité d'usage souhaitée, la méthode traditionnelle consiste à effectuer un entretien ou une réhabilitation par apport de matériaux supplémentaires pour réaliser selon les besoins de nouvelles couches de surface (liaison et/ou roulement), une nouvelle couche de base ou même une réfection totale après décaissement.

La technique du retraitement à froid en place des couches dégradées de chaussées permet de reconstituer une nouvelle couche de qualité et constitue une alternative intéressante à la méthode traditionnelle.

Le procédé de retraitement en place consiste à fragmenter le revêtement bitumineux, soit séparément, soit en même temps que tout ou partie des couches sous-jacentes.

La valorisation de ce matériau foisonné et homogénéisé est faite par différentes actions. Ces actions se traduisent par les opérations suivantes :

- une éventuelle correction du matériau recyclé par apport de granulats ayant les caractéristiques correctives requises.
- le reprofilage transversal (et parfois longitudinal) qui peut se faire soit par apport de matériaux complémentaires (qui peuvent aussi être correcteurs) soit par reprofilage du matériau de l'ancienne chaussée fragmenté.
- la valorisation du matériau de l'ancienne chaussée est obtenue :
 - en ajoutant un liant qui peut être hydrocarboné (généralement sous forme d'émulsion de bitume régénérant ou non), hydraulique ou composé.
 - en ajoutant éventuellement de l'eau pour obtenir un produit ayant les qualités nécessaires à sa bonne mise en œuvre et/ou à son hydratation.
 - en assurant l'homogénéisation par brassage et/ou malaxage des différents composants.
- la mise en œuvre de la couche retraitée (répandage, réglage et compactage)
- la mise en œuvre d'une éventuelle couche de base et/ou de liaison.
- la mise en œuvre de la couche de roulement.

Les deux dernières actions sont du même type que pour une technique traditionnelle.

2.2 - Avantages et limites de la technique

1 - Avantages de la technique

Les avantages de la technique se situent dans trois domaines : environnementaux, techniques et économiques.

Avantages environnementaux

Cette technique permet d'économiser les ressources naturelles non renouvelables. Elle permet aussi de réduire les quantités de matériaux à transporter et à mettre en dépôt définitif.

La réduction du transport de granulats par camion lors des travaux limite la fatigue du réseau routier adjacent au chantier et les impacts indirects (nuisances sonores, olfactives, hygiène et sécurité, etc.). Le retraitement à froid permet également une économie d'énergie.

Avantages techniques

Le retraitement de la chaussée permet une homogénéisation des matériaux en place et l'élimination des fissures présentes dans le revêtement et dans la partie supérieure de l'assise.

Les profils longitudinaux et transversaux peuvent être corrigés après la fragmentation de la chaussée.

En réutilisant les matériaux en place, il est possible de limiter le rehaussement du profil de la chaussée. Cet aspect est particulièrement important en site



RN 140 Rodez - Avant et après retraitement au liant hydraulique.

urbain ou lorsque le profil en long de la chaussée passe par des points obligés (ouvrages d'art par exemple...) ou quand le rechargement de la chaussée entraîne une réduction des accotements (problèmes de sécurité).

Les réalisations ont montré également que la technique de retraitement en place permet de s'adapter plus facilement aux contraintes d'exploitations comparativement à une technique de rechargement (durée d'intervention sur chaussée plus courte).

Avantages économiques

La technique du retraitement en place est plus rapide qu'une reconstruction de chaussée, ce qui est source d'économie et d'une moindre gêne à l'utilisateur. L'économie est d'autant plus importante que le coût est apprécié du point de vue global, en estimant les coûts indirects tels que : l'intérêt du recyclage dans le contexte de préservation de l'environnement, les nouvelles tarifications concernant les mises en décharges et l'interdiction de mettre en dépôt définitif des déchets autres que des déchets ultimes, la protection du réseau routier avoisinant, etc...

L'économie est encore plus évidente quand le retraitement est limité aux rives de chaussées ; la technique de travaux est alors différente dans le profil en travers et adaptée aux besoins.

2 - Limites de la technique

La première limite d'emploi est la dimension maximale (D) du plus gros élément du matériau disponible. On considère que D doit être inférieur à 63 mm, sans éléments supérieurs à 80 mm. Sont donc exclues, les chaussées rigides (béton) ou pavées, sauf si des techniques de fracturation préalable permettent de respecter la règle concernant le D.

Remarque :

Une autre limite d'emploi, en milieu urbain, serait la présence de nombreuses sorties de réseaux à la surface de la chaussée. Dans ce cas, même une autre solution de réhabilitation ne se fait pas dans des conditions techniques satisfaisantes. Avec le retraitement en place, la solution consiste à enterrer provisoirement les sorties de réseaux sous le niveau atteint par la fraise de fragmentation, de bien les repérer et de les remonter au niveau de la couche de roulement après sa réalisation. Avec cette procédure d'exécution, la solution retraitement en place présente un avantage technique certain car elle se réalise dans des conditions techniques tout à fait normales et permet de parfaitement repositionner la sortie de réseau par rapport à la surface de la chaussée.

Existent également les mêmes limites que celles du produit traditionnel correspondant (mûrissement des graves émulsion, délai de maniabilité des graves traitées aux liants hydrauliques, dispersion des caractéristiques des matériaux à retraiter,...).

La limite qui est commune à toutes les techniques de retraitement s'inscrit dans la conception du projet, et son dimensionnement. On assimile leur comportement à long terme et en fatigue à celui du produit conventionnel correspondant. Il n'existe pas d'études de fatigue suffisantes en laboratoire, mais le bon comportement d'un ensemble de chaussées retraitées démontre que cette hypothèse de calcul avec des matériaux retraités peut être retenue.

2.3 - Domaine d'emploi

Le marché actuel se situe essentiellement sur les chaussées des routes départementales dont les structures traditionnelles ont besoin d'être remises à un niveau de qualité d'usage supérieur. Mais toute structure routière (routes nationales, autoroutes, chaussées urbaines, zones portuaires,...) peut être concernée par la technique de retraitement en place.

Il est également un marché pour la réhabilitation des aires aéronautiques pour lesquelles l'étude doit tenir compte des objectifs et des contraintes spécifiques à ces structures. Sur ces sites aéronautiques, des exemples de retraitement à l'émulsion ont donné satisfaction vis-à-vis d'un objectif de suppression de fissures dans des couches de surface bitumineuses recouvrant une assise rigide (joints ou fissures de retrait).



RD 143 Duclair (76) - Aspect de la chaussée après retraitement en place.

3 - Classification des retraitements en place

Une classification des retraitements en place peut être établie selon :

- la technique de retraitement (nature du liant)
- l'objectif recherché.
- le principe adopté pour résoudre le problème rencontré (problème de surface ou défaut structurel)

Cette typologie distingue 5 classes telles que définies dans le tableau I.

Nature du retraitement	Retraitement à l'émulsion de bitume (livret 1)			Retraitement avec un liant hydraulique (livret 2)	Retraitement avec un liant composé (livret 3)
	Classe I	Classe II	Classe III	Classe IV	Classe V
Caractéristiques					
Objectif	Renforcement structurel	Réhabilitation des couches de surface		Renforcement structurel	Renforcement structurel ou correction d'un défaut des couches de surface
Principe	Amélioration des caractéristiques mécaniques et géométriques de la chaussée avec plus ou moins d'ancienne assise et éventuellement régénération du bitume dans la classe II		Recyclage de la couverture bitumineuse avec régénération du bitume	Création d'une nouvelle assise ou d'une nouvelle couche de surface (classe V) - avec ou sans matériau d'apport - avec ou sans enlèvement des couches de surface	
Matériaux de l'ancienne chaussée à retraiter	3 à 4 cm de couverture bitumineuse + assise non traitée ou traitée aux liants hydrauliques	4 à 8 cm de couverture bitumineuse + assise non traitée ou traitée aux liants hydrauliques	Uniquement des matériaux bitumineux en intégrant l'interface	Tout ou partie de la couverture bitumineuse. Tout ou partie des assises. Eventuellement partie du support	Tout ou partie de la couverture bitumineuse et tout ou partie des assises.
Liant	Emulsion de bitume	Emulsion de bitume pur ou régénérant	Emulsion de bitume régénérant	Ciment ou liant hydraulique routier	Mélange ciment ou liant hydraulique routier + émulsion de bitume
Teneur habituelle en liant d'ajout	3 à 5 % de bitume résiduel	1 à 3 % de bitume résiduel	Jusqu'à 2 % de bitume résiduel	3 à 6 % de liant hydraulique	3 à 7 % de liant composé
Épaisseur de la couche retraitée	10 à 15 cm	5 à 12 cm	5 à 12 cm	20 à 30 cm	10 à 30 cm

Tableau I - Classification des retraitements

Retraitement de classe I

Le retraitement à l'émulsion de bitume s'applique à des chaussées de trafic $\leq T2$ présentant une faiblesse structurelle et avec une couverture bitumineuse peu épaisse (≤ 4 cm).

Le cas type est celui d'une chaussée à faible trafic, dont l'assise en matériau non traité est recouverte d'enduits superficiels successifs qui forment une couverture bitumineuse de 3 à 4 cm d'épaisseur ou moins.

La profondeur de retraitement est souvent comprise entre 10 et 15 cm. La nouvelle assise ainsi obtenue est recouverte suivant le trafic par un enduit superficiel, un enrobé coulé à froid ou un béton bitumineux.

Retraitement de classe II

Ce type de retraitement permet de résoudre les problèmes liés au décollement d'interfaces, de corriger le vieillissement et l'usure des couches de surface en enrobés ou une fissuration intense.

Ce retraitement à l'émulsion de bitume est mis en œuvre sur des chaussées ayant une couverture bitumineuse de 4 à 8 cm et une bonne homogénéité de structure.

Il se réalise sur une épaisseur de 5 à 12 cm.

Retraitement de classe III

Dans ce cas, l'émulsion de bitume utilisée a un effet régénérant (ou correcteur) de manière à recycler les enrobés d'une structure de chaussée n'ayant pas de déficit structurel.

Ce retraitement vise à résoudre les problèmes liés au décollement d'interfaces, et/ou le vieillissement et l'usure des enrobés.

L'épaisseur de retraitement (entre 5 et 12 cm) est toujours supérieure de quelques centimètres à l'épaisseur de la ou des couche(s) de surface ancienne(s), de manière à traiter l'interface.

Retraitement de classe IV

L'objectif est un renforcement structurel avec ajout d'un liant hydraulique ; il s'agit de reconstruire une nouvelle couche d'assise qui peut s'intégrer dans une nouvelle structure comme couche de fondation ou couche de base selon les cas.

Ce retraitement est généralement mis en œuvre sur des chaussées à faible ou moyen trafic, avec une structure traditionnelle non traitée et peu de couverture bitumineuse mais il peut s'adapter à toute structure et tous trafics.

En général, le retraitement se fait sur une épaisseur de 20 à 30 cm.

Retraitement de classe V

L'objectif est d'assurer un renforcement structurel et/ou de corriger un défaut concernant les couches de surface.

La particularité de ce retraitement de classe V est qu'il se réalise avec un liant composé obtenu par association d'un liant hydraulique et d'une émulsion de bitume dont la nécessaire compatibilité a été étudiée et testée. Cela se traduit donc par un nouveau matériau d'assise dont les caractéristiques sont spécifiques.

Le domaine d'emploi de ce retraitement est donc très semblable à celui de la classe IV (défaut structurel) mais, dans certains cas, peut chevaucher celui du retraitement de classes II et III (défaut des couches de surface).

Il se fait sur une épaisseur de 10 à 15 cm. En cas de défaut structurel de la chaussée, il se fait sur une épaisseur allant jusqu'à 30 cm.

4 - Choix de la technique d'entretien ou de réhabilitation

Pour choisir la technique d'entretien ou de réhabilitation de chaussées, une étude de diagnostic¹¹ approfondie est nécessaire surtout pour les trafics > T3. Dans certains cas simples de chaussées à faible trafic, le projeteur peut décider des travaux avec une étude minimale de diagnostic, en fonction de sa réflexion, de sa connaissance du réseau et de l'expérience locale. Cette démarche est le minimum indispensable pour définir des travaux.

4.1 - Cas de travaux définis avec étude minimale de diagnostic

Concrètement, il s'agira d'engager le projet de retraitement avec un minimum de reconnaissance nécessaire à sa réussite en s'appuyant sur l'expérience locale en ce qui concerne la connaissance des structures des anciennes chaussées et la compétence professionnelle des entreprises pour la réalisation des travaux...

Le minimum de reconnaissance doit comprendre :

- le recueil des données disponibles auprès des services gestionnaires concernant les structures, les banques de données, l'historique de la chaussée, la position des réseaux enterrés.
- une visite du technicien sur l'itinéraire et la réalisation de sondages. La solution retraitement ne doit pas être mise en œuvre sans une reconnaissance des structures par sondage.
- le prélèvement des matériaux à retraiter pour identification et éventuellement essais et étude de formulation (définition du matériau correcteur, caractéristiques du liant, compatibilité liant/matériau, composition du mélange,...).

Nota

Bien que non indispensables, les mesures de déflexions sont souhaitables pour affiner les solutions et éviter des erreurs.

¹¹ cf. définition dans le glossaire



Réalisation de sondages pour prélèvements de matériaux dans la chaussée.

4.2 - Cas de travaux avec étude de diagnostic approfondie et définition des solutions de travaux

1 - Diagnostic

Lorsqu'une chaussée offre à l'utilisateur une qualité d'usage insuffisante, le projeteur définit les travaux conférant à la chaussée des caractéristiques structurelles et de surface conformes aux objectifs du maître d'ouvrage en s'appuyant sur une étude.

Cette étude, doit toujours être réalisée pour les chaussées dont le trafic est supérieur à T3 ; elle permet d'établir un diagnostic d'état de la chaussée.

Le technicien dispose de différents moyens pour réaliser cette étude avec des matériels et méthodes d'essais, différents guides d'auscultation, de dimensionnement ou de renforcement des chaussées et des logiciels de calcul comme ALIZE ou GEL 1 D, ou système expert comme ERASMUS etc... Il conduit son étude avec comme principe de base :

- un découpage en zones homogènes de la chaussée en terme de contraintes d'exploitation (trafic, service, etc...) et en terme de données techniques existantes de la chaussée (historique, nature, comportement, dégradations, etc...).

- un programme d'investigations complémentaire (prélèvements, sondages, déflexions,...).

Au terme de cette étude, le projecteur déterminera s'il doit réaliser :

- des travaux d'entretien.
- des travaux plus lourds de type réhabilitation ou réfection totale si une déficience structurelle est identifiée.

2 - Solutions de travaux

Travaux d'entretien

Lorsqu'il n'y a pas de défaut structurel, le remède passe par l'ajout d'une nouvelle couche de roulement.

La solution retraitement

Les techniques de retraitement à froid à l'émulsion de bitume de classe II ou de classe III, voire le retraitement de classe V, peuvent être une alternative à l'apport d'une nouvelle couche en particulier si les dégradations de surface sont imputables à un défaut d'interface entre les premières couches.

Le retraitement à froid n'impose pas d'investigations complémentaires sur le terrain si l'étude de diagnostic permet de fixer l'épaisseur du retraitement (géométrie de la structure) et la qualité des matériaux suivant la

méthodologie précisée dans les livrets techniques 1 et 3.

Travaux de réhabilitation

Lorsqu'il y a défaut structurel, la solution consiste à ajouter une ou plusieurs couches nouvelles de matériaux (parfois une réfection totale en zone urbaine).

La solution retraitement est normalement envisageable au terme de l'étude de diagnostic. Des investigations complémentaires sont éventuellement nécessaires pour préciser les paramètres du retraitement tels que définis dans les livrets techniques du guide qui fixent également la méthodologie d'étude pour chaque type de retraitement.

Remarque

Dans tous les cas, quel que soit le type de travaux à réaliser, il convient de ne pas oublier de traiter les défauts de drainage existant sur la chaussée par des dispositifs appropriés.

4.3 - Synthèse

En résumé, le choix de la technique d'entretien ou de réhabilitation est l'aboutissement d'une suite logique d'investigations et de raisonnements tel que schématisé en figure 1.

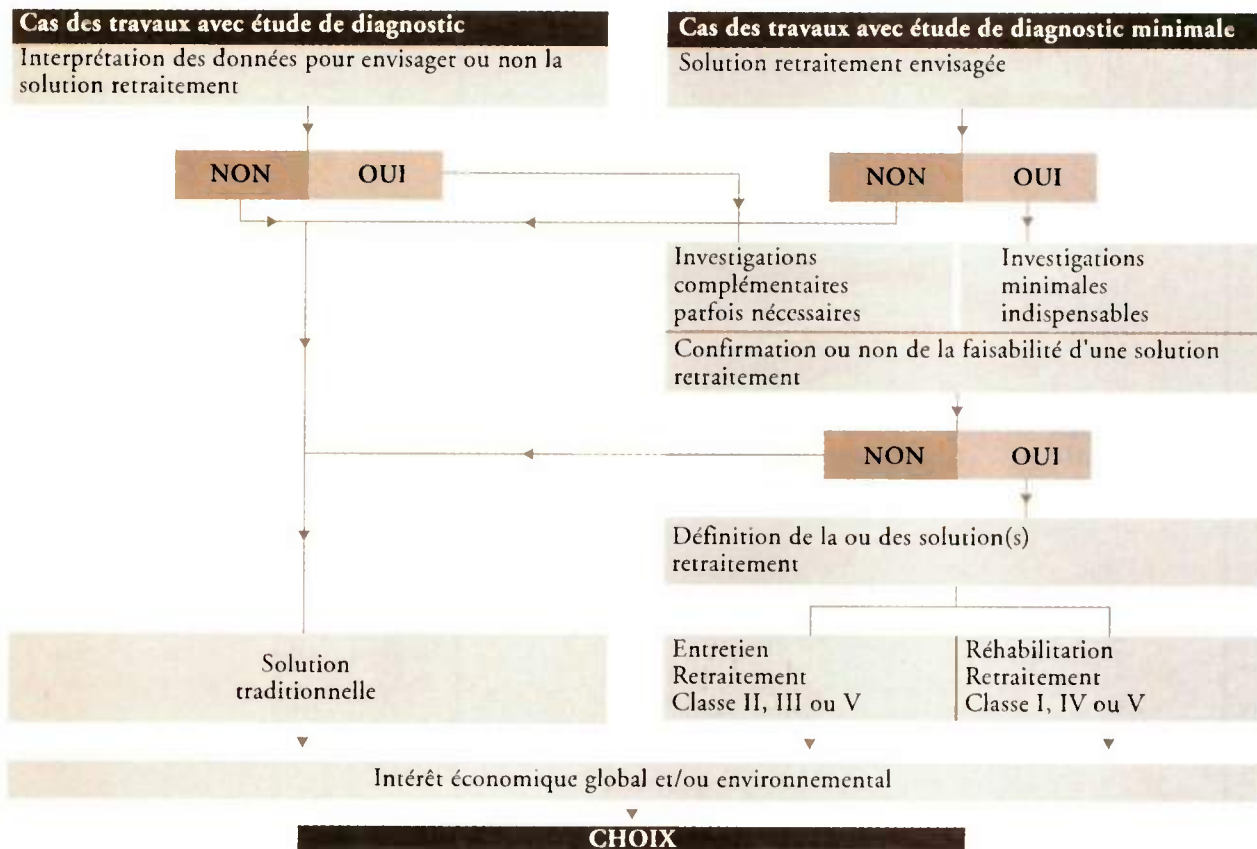


Figure 1 - Choix de la technique de travaux

5 - Conception du projet

5.1 - Les différentes structures réalisées par retraitement

• Retraitements de classes I, IV ou V réalisés pour résoudre un problème structurel majeur : création d'une nouvelle couche de base ou de fondation. Le schéma de la figure 2 correspond à un retraitement sans enlèvement de matériaux. Dans ce cas, l'ancienne chaussée est souvent recouverte par le matériau complémentaire et/ou correcteur avant le passage de l'atelier de retraitement.

Qu'il y ait ou non apport de matériau, on peut aussi imaginer que tout ou partie des couches de surface est enlevé par une opération de fraisage préalable.

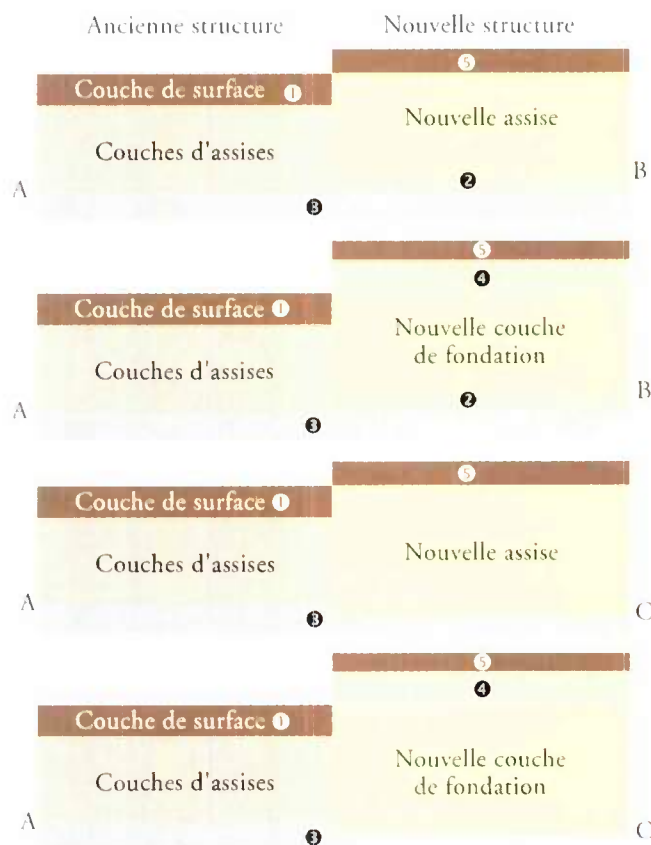


Figure 2 - Structures de chaussées obtenues par retraitement. Cas d'un défaut structurel majeur.

• Retraitements de classes II, III ou V, réalisés pour résoudre un problème de couche(s) de surface.

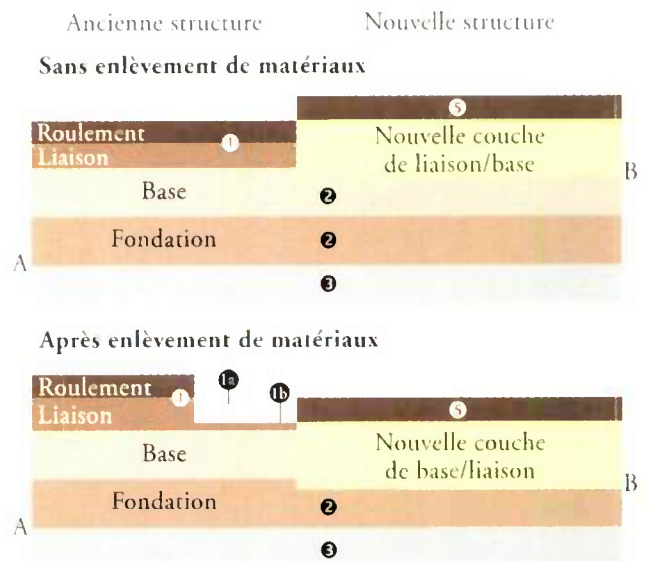


Figure 3 - Structures de chaussées obtenues par retraitement. Cas d'un défaut dans les couches de surface.

- ① - Couche(s) de surface bitumineuse(s).
 - 1a - Partie de l'ancienne structure enlevée.
 - 1b - Partie de(s) couche(s) de surface conservée(s).
 - ② - Partie de l'ancienne assise conservée.
 - ③ - Sol support (couche de forme ou partie supérieure de terrassement).
 - ④ - Nouvelle couche de base.
 - ⑤ - Nouvelle(s) couche(s) de surface.
- } Matériaux rapportés

■ Nouvelle couche obtenue par retraitement en place

A : Ancienne plate-forme.

B : Interface ancienne et nouvelle assise.

C : Nouvelle plate-forme.

5.2 - La démarche de dimensionnement

Cette démarche n'est pas indispensable pour les chaussées à faible trafic ($\leq T3$) ou lorsque le défaut de l'ancienne structure ne concerne que les couches de surface (problème d'interface par exemple).

Comme pour les solutions traditionnelles, le sous dimensionnement peut être une cause d'échec. La démarche dimensionnement est donc nécessaire lorsque le retraitement doit corriger une insuffisance structurelle majeure ou pour des chaussées dont le trafic est supérieur à T3.

Dans ce cas, on se réfère au Guide technique "Conception et dimensionnement des structures de chaussées" LCPC/Setra de Décembre 1994. La démarche de dimensionnement est synthétisée en figure 4.

Elle consiste tout d'abord à choisir une couche de roulement.

Elle passe ensuite par la vérification du dimensionnement de l'assise obtenue par retraitement en fonction du trafic et des caractéristiques des matériaux constituant cette assise et de la modélisation de la partie restante de l'ancienne structure et du sol.

Elle se termine par la vérification au gel - dégel si nécessaire.

La spécificité de l'étude de dimensionnement est liée au fait que le retraitement en place conduit à des matériaux dont les performances dépendent :

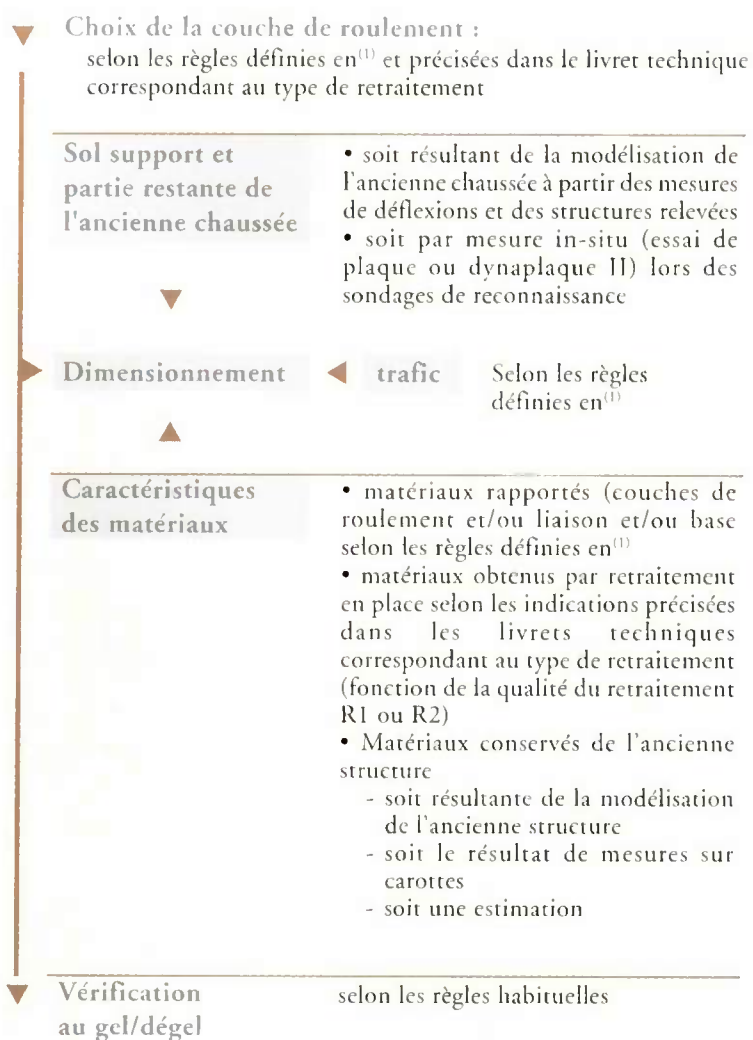
- de la structure de l'ancienne chaussée et de la nature des matériaux qui la composent,
- des matériels utilisés pour la réalisation des travaux.

Dans la démarche de dimensionnement, il sera pris en compte :

- les performances mécaniques du matériau obtenu si une étude de formulation a été réalisée (trafic > T3 ou valeurs précisées dans chaque livret pour les trafics faibles),
- la qualité du retraitement est dépendante des performances des matériels utilisés. Pour cela, chaque atelier de retraitement est apprécié par les coefficients HEPIL et LTV définis dans le chapitre 6.

Les caractéristiques des matériels et les qualités de compactage permettent de définir deux qualités de retraitement R1 et R2.

Ces qualités de retraitement sont définies dans chaque livret technique, où sont également fixées la marche à suivre et les valeurs à considérer pour appliquer le Guide technique Conception et dimensionnement des structures de chaussées LCPC/Setra.



⁽¹⁾ Guide Technique Conception et dimensionnement des structures de chaussées LCPC/Setra - Décembre 94 et catalogue de structures types de chaussées neuves LCPC/Setra 1998.

Figure 4 - Synthèse de la démarche du dimensionnement.

6 - Les matériels

Le choix de matériels adaptés au cas du chantier à réaliser est très important pour la réussite et la qualité de l'ouvrage.

Dans les années antérieures, l'utilisation de matériels dérivés du machinisme agricole, peu performants pour le retraitement des chaussées, a pu conduire à l'échec.

Aujourd'hui, les progrès technologiques des constructeurs de matériels, les spécifications techniques de l'administration et le savoir-faire des entreprises spécialisées dans le retraitement, ont permis de mettre au point des matériels performants, bien adaptés au travail à réaliser. Afin d'aider au choix du matériel, le maître d'œuvre et l'entreprise disposent d'un référentiel multiple :

- une normalisation établissant la terminologie et les principales spécifications techniques,
- des avis techniques et des certificats d'aptitude technique pour certains matériels donnant leur capacité et le niveau de performances.

6.1 - Les fonctions des matériels pour un chantier de retraitement

Sur un chantier, suivant la classe du retraitement, on peut trouver tout ou partie des matériels permettant les fonctions suivantes :

Fonction enlèvement de matériau

Il s'agit le plus souvent de couches de roulement en béton bitumineux, pour éviter un réhaussement de profil, et/ou pour recycler le produit dans une autre chaîne de valorisation, ou pour assurer le reprofilage nécessaire avant le passage du matériel de retraitement.

Fonction apport de matériau complémentaire et/ou correcteur

Il se fait, soit directement sur la chaussée permettant ainsi son reprofilage, soit par déversement dans une trémie de réception d'une machine de retraitement.

Fonction fragmentation de la chaussée

Elle est assurée par un rotor à arbre horizontal équipé de pics ou d'outils du type marteau.

La chambre du rotor est équipée d'une ou plusieurs rampes permettant d'injecter de l'eau et/ou un liant

liquide. La machine peut être équipée des organes de dosage et contrôle correspondant.

Fonctions de brassage et malaxage (homogénéisation)

La fonction de brassage vertical est obtenue avec le rotor de la machine de fragmentation mais ce type de matériel (fraiseuse ou pulvérisateur) ne peut assurer le mélange avec les ajouts que dans l'épaisseur de la couche.

La fonction malaxage intervient quand, après fragmentation, le matériau est repris et passe dans un malaxeur à arbre(s) horizontal(aux) de type centrale. Cette fonction peut également être obtenue par le brassage vertical de l'outil de fragmentation auquel s'ajoute un brassage transversal réalisé par les différents transferts du produit avec des outils appropriés.

Fragmentation et malaxage peuvent être concentrés sur une seule machine ou réalisés par des matériels différents.

Fonction dosage du liant

Lorsque le liant est pulvérulent, cette fonction est assurée généralement par un matériel du type épandeur mais il existe des matériels qui permettent de déposer un liant pulvérulent immédiatement dans la préchambre du rotor dans le but d'éviter les émissions de poussières entre les opérations d'épandage et de malaxage.

Lorsque le liant est liquide, il est dosé comme dans une centrale fixe au moyen de pompes doseuses avec les organes de contrôle habituels.

Mise en œuvre du matériau retraité (réglage et compactage)

Il s'agit là d'une fonction classique dans la construction routière et sans spécificité majeure sur un chantier de retraitement. En général, dans le cas de machines multifonctions, elles assurent un premier réglage dans la largeur de travail et parfois également un précompactage.

Il convient cependant de rappeler la nécessité de mise en œuvre d'une couche d'accrochage entre le support et la nouvelle couche quand il y a un retraitement de classes II ou III.

Au niveau de la conduite des travaux, la particularité du chantier de retraitement réside dans le fait que le travail est réalisé par bandes successives (recouvrement des bandes, fin réglage,...) et en forte épaisseur dans le cas de réhabilitation structurelle. Pour ces deux raisons, un soin particulier doit être apporté dans le dimensionnement de l'atelier de compactage pour l'obtention des qualités de compactage requises (q1 ou q2) et dans le respect du délai de maniabilité quand il y a retraitement avec un liant hydraulique. De la qualité du compactage dépend la durabilité de la solution de retraitement réalisée.



Épandeur de liant pulvérulent.

6.2 - Critères de performances des matériels de retraitement

Suivant le type de retraitement et le liant utilisé tout ou partie des éléments définis dans ce chapitre sont à prendre en compte.

La classification des matériels est obtenue par trois critères regroupés dans un coefficient LTV pour les épandeurs de liants pulvérulents et cinq critères regroupés dans un coefficient HEPIL pour les matériels de fragmentation malaxage.

Chaque critère est noté de 3 (valeur optimale) à 1 (valeur minimale).

Épandeurs de liant pulvérulent

- **L** : qualité d'homogénéité Longitudinale sur la longueur d'épandage du dosage surfacique moyen (CvL exprimé en %).
- **T** : qualité d'homogénéité Transversale sur la largeur d'épandage du dosage surfacique moyen (CvT exprimé en %).
- **V** : possibilité de faire Varier la largeur d'épandage de liant.

Le tableau 2 donne les conditions suivant lesquelles sont notés les différents critères.

Remarques

La norme NF P 98-115 pour l'exécution des corps de chaussées précise que les matériels ayant un Coefficient de Variation supérieur à 10 % ne sont pas autorisés.

Un Coefficient de Variation de 10 % conduit à prévoir une augmentation du dosage en liant d'environ 1 % en valeur absolue.

Critères	NOTE		
	3	2	1
L Homogénéité longitudinale d'épandage du liant (en %)	CvL ≤ 5	5 < CvL ≤ 10	CvL > 10
T Homogénéité transversale d'épandage du liant (en %)	CvT ≤ 10	10 < CvT ≤ 20	CvT > 20
V Possibilité de faire varier la largeur d'épandage	OUI	NON	NON

Tableau 2 : Critères de qualification des épandeurs.

Matériels de fragmentation et de malaxage

- **H** : qualité d'Homogénéisation du matériau avec le ou les liants suivant que le matériel dispose ou ne dispose pas d'un malaxeur associé au rotor de fragmentation.
- **E** : maîtrise de l'épaisseur de retraitement de la chaussée.
- **P** : Puissance disponible pour fragmenter l'ancienne chaussée.
- **I** : présence d'un dispositif d'Injection d'eau.
- **L** : dosage de Liant sous forme liquide.

Le tableau 3 donne les conditions suivant lesquelles sont notés les différents critères.



RACO 250 équipée d'une pompe d'injection d'eau sur le côté droit

Remarques

La norme NF P 98-115 pour l'exécution des corps de chaussées précise que les matériels doivent être à rotor horizontal et équipés d'un indicateur de profondeur. Les systèmes de dosage des liquides doivent assurer une précision minimale de 2%.

Un Coefficient de Variation supérieur à 5 % sur l'épaisseur (critère E) est équivalent, au niveau structurel, à un manque d'épaisseur d'environ 10 % (en relatif).

Critères	NOTE			
	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 ⁽¹⁾	Réglage et contrôle de l'épaisseur	Réglage de l'épaisseur	
P Puissance disponible par mètre linéaire de rotor de fraisage	> 70 kW	35 < P ≤ 70 kW	≤ 35 kW	
I Possibilité d'injecter l'eau dans la chambre de malaxage ou de fragmentation	Pompe à débit variable asservi à la translation et rampe de largeur variable	Pompe à débit variable asservi à la translation	pas d'asservissement	
L Dosage du liant sous forme de liquide	Pompe à débit variable asservi à la vitesse de translation ou au poids de matériau retraité + débitmètre (eau) et pesée (ciment)	Pompe à débit variable asservi à la vitesse de translation ou au poids de matériau à retraiter + compteur volumétrique	Pompe à débit variable non asservi	

⁽¹⁾ La fonction de maintien à la profondeur du rotor de fraisage empêche la remontée de celui-ci en cas d'augmentation trop importante du couple de fraisage. La remontée du rotor ne peut se faire que manuellement par le conducteur.

Tableau 3 : Critères de qualification des matériels de retraitement.



Atelier de retraitement NOVACOL (COLAS) - Tarbes.



Atelier de retraitement ARC 700 (APPIA) - St. Gatien des Bois.

6.3 - Exemples de composition d'ateliers de retraitement

L'atelier de retraitement est l'ensemble des matériels qui constituent un chantier de cette nature. Il permet de réaliser tout ou partie des fonctions inventoriées précédemment. La composition de l'atelier varie suivant le type de retraitement et la qualité recherchée.

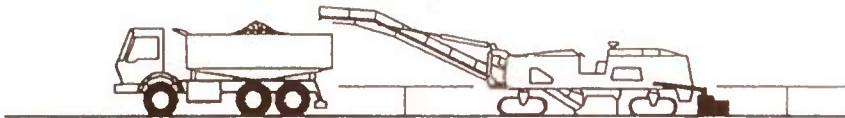
Pour un retraitement de classes I, IV ou V, répondant à un besoin structurel, si le profil de l'ancienne chaussée, comme c'est souvent le cas, est déformé, il est nécessaire de réaliser un reprofilage pour garantir le respect de l'épaisseur de la nouvelle assise.

L'un des quatre exemples schématisés ci-après peut précéder un atelier de retraitement quel qu'il soit.

Reprofilage par apport de matériau correcteur et/ou complémentaire



Reprofilage par enlèvement de matériau (fraisage guidé)



Reprofilage par fraisage et apport de matériau correcteur et/ou complémentaire



Reprofilage avec les matériaux de l'ancienne chaussée préalablement et partiellement fraisée





Atelier de retraitement RECYCOLD (SICREG) - RD 16 - Escalquens - Haute Garonne.

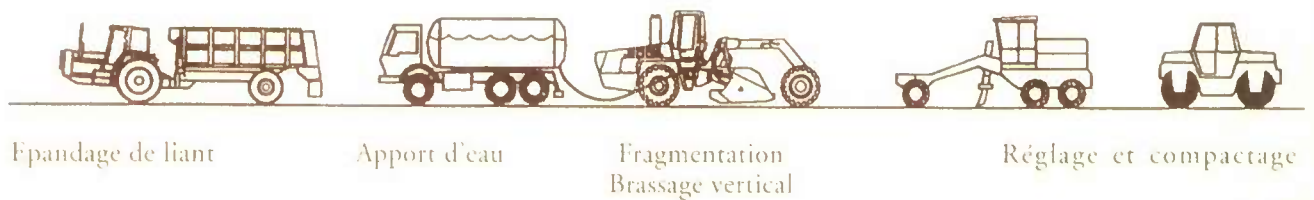


Atelier de retraitement WIRTGEN.

Les schémas suivants donnent, à titre d'exemple, des ateliers de retraitement courants. Chacun d'eux, selon la qualité des matériels et les procédures d'exécution envisagées peut assurer un retraitement de qualité R1.

Exemple de retraitement de classe IV

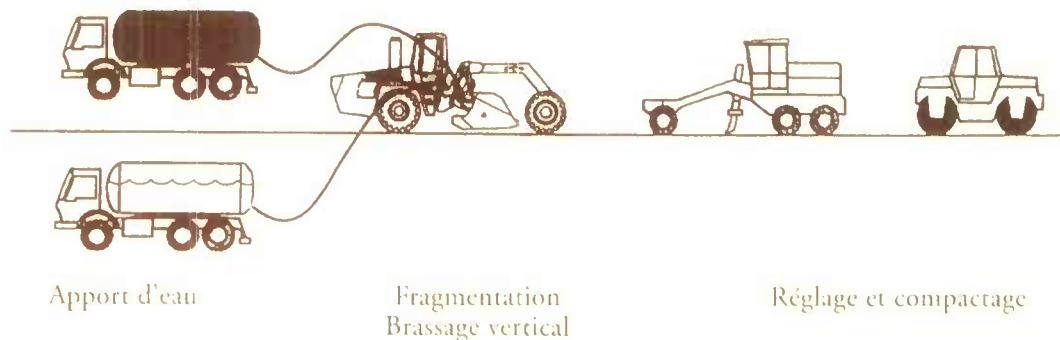
avec emploi de liant hydraulique sous forme pulvérulente et uniquement un brassage vertical des matériaux.



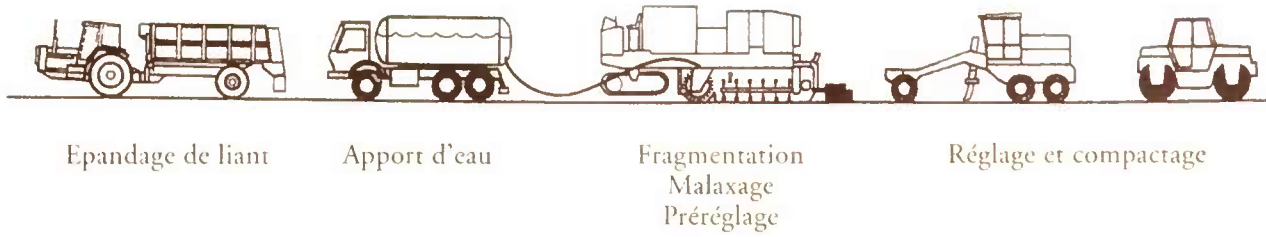
Exemple d'atelier permettant d'atteindre le même objectif

avec emploi d'un liant sous forme liquide (retraitement de classes I, IV ou V).

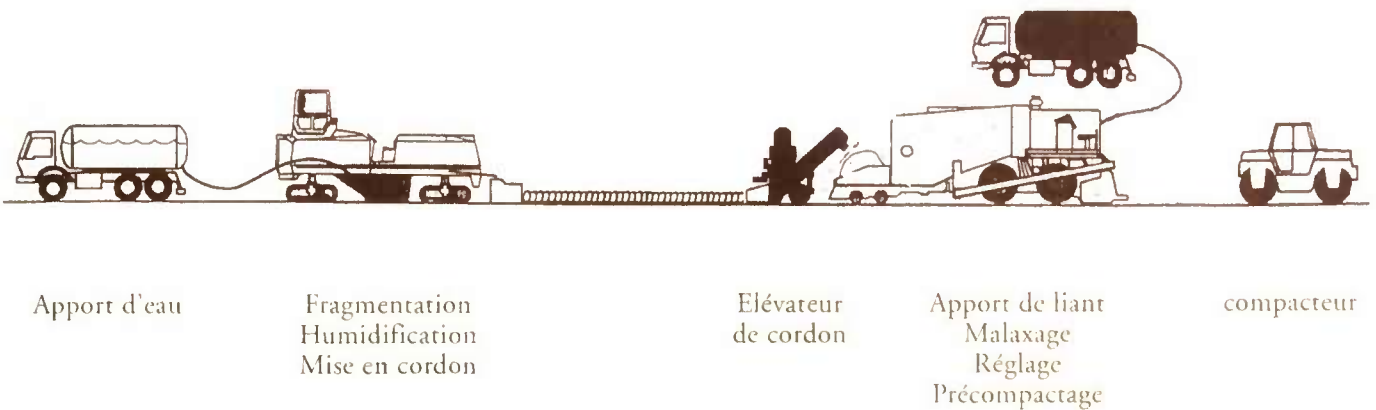
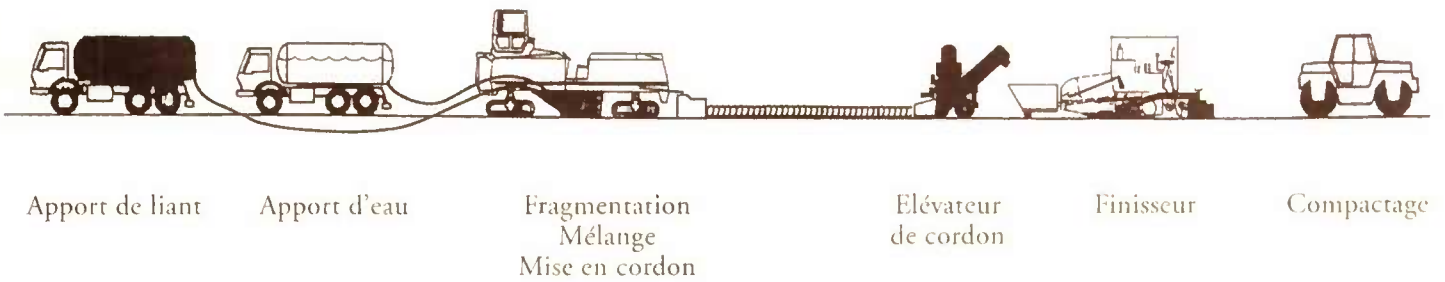
Apport de liant



Exemple d'atelier faisant appel à une machine multifonction (fragmentation, brassage vertical, malaxage, pré réglage et précompactage). Configuration pour un retraitement de classe IV



Deux exemples d'atelier pour un retraitement de classes II, III ou V pour résoudre un problème concernant les couches de surface.



7 - Contrôles

Pour un chantier de retraitement en place, on peut distinguer :

- d'une part, les contrôles habituels concernant les granulats correcteurs et/ou complémentaires, les liants et la qualité de la mise en œuvre,
- d'autre part, les contrôles relatifs au retraitement proprement dit.

Ne sont développés, dans les livrets techniques de ce guide, que les contrôles spécifiques ou particuliers au retraitement en place.

Contrôles des granulats

Le contrôle intérieur, exercé par le titulaire du marché, est conduit conformément aux dispositions de son plan d'assurance qualité (PAQ).

Le contrôle extérieur est conforme à celui précisé à l'article III.6 du fascicule 23 du CCTG.

Dans le cas où le maître d'œuvre fait les essais nécessaires à l'admission des granulats, les échantillons pour les essais d'admission sont prélevés sur les lieux de production des granulats.

Contrôles des liants

L'entrepreneur prélève sur tous les porteurs un échantillon conservatoire pour le maître d'œuvre.

Contrôles du retraitement en place

Dans le cadre du contrôle extérieur, il est réalisé une épreuve de convenance dont le but est de valider le processus d'exécution tel qu'il est prévu au PAQ. Cette épreuve constitue un point d'arrêt.

Une telle démarche n'est applicable que pour les chantiers qui le justifient soit par le niveau de trafic supporté par la chaussée, soit par la taille du chantier.

Le guide technique considère qu'une épreuve de convenance s'impose pour les chantiers supérieurs à 50000 m².

La plupart des chantiers actuels n'atteignant pas cette limite, on admettra que l'épreuve de convenance correspond à l'épreuve de conformité du premier lot réalisé.

Chacun des livrets techniques précise, dans une annexe, le contenu de l'épreuve de convenance et détaille les essais et contrôles à réaliser dans le cadre des épreuves de conformité.

Glossaire

La plupart de ces définitions a été tirée du dictionnaire de l'entretien routier édité par le CETE de l'Est.

Elles ont été reproduites ou formulées pour la compréhension de ce document et n'ont pas de caractère officiel.

• Atelier de retraitement

L'atelier de retraitement est l'ensemble des matériels qui permettent de réaliser les différentes phases du chantier de retraitement. Il comprend des matériels courants utilisés en technique de construction routière (niveleuses, compacteurs, épandeurs de pulvérulent, fraiseuses ou pulvérisateurs,...). Il peut être également constitué de machines multifonction qui réalisent deux ou plusieurs phases spécifiques au retraitement suivant des associations qui peuvent être différentes.

• Brassage vertical

Action de brasser verticalement un matériau, une couche de chaussée... On utilise ce terme pour définir un mélange dans le sens de l'épaisseur de la couche de chaussée sans déplacement latéral des composants.

• Décohesionner

Verbe employé parfois pour décrire l'action de fragmenter l'ancienne chaussée c'est-à-dire transformer une couche compacte ou en matériaux liés en un "granulat" (grave foisonnée).

• Entretien

Entretien courant

Ensemble des activités curatives réalisées tout au long de l'année pour traiter des dégradations ponctuelles. Il peut être subdivisé en deux catégories de travaux :

- l'entretien courant programmé, qui consiste à intervenir localement sur des dégradations (ex. reprofilage et imperméabilisation localisée),
- l'entretien palliatif qui consiste à réparer les dégradations lorsqu'elles présentent un danger pour les usagers (ex. rebouchage de nid de poule).

Entretien préventif

Entretien qui se fait sur les itinéraires dotés de bonnes caractéristiques structurelles. Les travaux d'entretien sont programmés avant que les dégradations n'atteignent une gravité pouvant mettre en cause la conservation de la chaussée, la sécurité et le confort des usagers ou l'intégrité de la couche de surface.

Plusieurs types d'interventions peuvent être distingués :

- couche d'usure mince pour imperméabiliser la chaussée et améliorer l'adhérence,
- couche de surface pour améliorer l'uni,
- couche épaisse pour redonner de la portance à la chaussée.

La démarche proposée doit permettre, à partir des données recueillies antérieurement, de déterminer les travaux d'entretien souhaitables.

Deux phases sont distinguées dans la démarche :

- phase 1. Etablissement du diagnostic.
- phase 2. Définition du programme de travaux.

Dans ce guide technique, le terme entretien recouvre cette notion d'entretien préventif et se traduit en technique traditionnelle par la mise en oeuvre d'une nouvelle couche de surface, depuis l'enduit ou l'ECF jusqu'à un béton bitumineux en épaisseur inférieure à 8 cm.

• Etude de diagnostic

Etude généralement faite par un laboratoire et pour une section de route, destinée à évaluer la structure de chaussée sous l'angle de son endommagement structurel ou de défauts de surface de manière à définir les travaux de remise en état. Cette étude réalisée avec les informations des bases de données, les résultats d'essais d'auscultation et relevés visuels, peut également faire appel à des logiciels d'aide à la décision (ERASMUS).

• Fraiseuse Pulvérisateur

La fraiseuse est une machine automotrice destinée à fragmenter sur une épaisseur donnée le matériau à retraiter. Elle est équipée d'un rotor muni d'outils, de pics ou de couteaux.

En terrassement, le pulvérisateur est une machine automotrice servant à incorporer, d'une manière homogène sur l'épaisseur à traiter, les ajouts (liant, eau,...) dans le sol.

Les machines utilisées pour le retraitement à froid des anciennes chaussées sont équipées de pics ou d'outils du type marteau, et réalisent le mélange du matériau obtenu par fragmentation de l'ancienne chaussée avec les ajouts (eau, liant, matériau correcteur ou complémentaire) verticalement et d'une manière homogène dans l'épaisseur de la chaussée.

• Liant composé

Le liant composé résulte de l'association de liant hydrocarboné (généralement sous forme d'émulsion de bitume) et de liant hydraulique tel que les ciments normalisés ou les liants hydrauliques routiers.

Les liants composés peuvent, soit résulter de l'incorporation successive des deux constituants dans un corps granulaire, soit être prêts à l'emploi par élaboration préalable dans une unité spécifique.

• Liant hydraulique

Un liant hydraulique est constitué par un ou plusieurs composés minéraux qui, mélangé à l'eau et éventuellement à des granulats, durcit aussi bien à l'air que sous l'eau et reste solide, même sous l'eau.

En technique routière, on utilise essentiellement les liants hydrauliques (ciments, liants hydrauliques routiers,...) ou des liants pouzzolaniques (laitiers, cendres volantes,...).

Dans la technique de retraitement en place en France, les chantiers sont réalisés avec des liants hydrauliques routiers ou du ciment.

• Liant hydrocarboné

Les liants hydrocarbonés utilisés en technique routière sont essentiellement :

- les bitumes,
- les émulsions de bitume,
- la mousse de bitume.

Dans la technique de retraitement en place en France, les chantiers sont généralement réalisés avec de l'émulsion de bitume.

• Liant régénérant

Liant hydrocarboné dont la composition et la consistance permettent de compenser, dans le bitume en place, la diminution globale de performances causée par son vieillissement.

• Malaxage

Action de malaxer un matériau pour le rendre homogène. On utilise ce terme pour définir un mélange dont l'homogénéité est comparable à celle obtenue par le passage dans un malaxeur à arbres horizontaux du type centrale routière. Il peut être obtenu par un brassage vertical et un brassage latéral des matériaux ou par le passage dans un malaxeur.

• Recyclage

Action consistant à introduire, dans un cycle de fabrication, une proportion variable de matériaux de récupération

• Réhabilitation

Technique de travaux permettant de redonner à une structure de chaussée, les caractéristiques géométriques et/ou mécaniques, et/ou de surface.

Dans ce guide, nous entendons par réhabilitation des travaux permettant de corriger un défaut structurel qui, en technique traditionnelle, peut aller de "l'entretien lourd" (béton bitumineux en forte épaisseur $e \geq 8$ cm) "au renforcement" (nouvelle couche de base et nouvelles couches de surface).

• Retraitement en place à froid

Le retraitement en place à froid consiste à fragmenter à froid tout ou partie d'une chaussée et à la retraiter à l'aide d'un liant hydraulique, d'un liant hydrocarboné ou les deux conjugués (liant composé) pour lui conférer les qualités requises.

• Thermorecyclage (technique non concernée par ce guide)

Technique de traitement en place d'une chaussée bitumineuse, par chauffage, fractionnement, malaxage de l'ancien enrobé avec les correctifs nécessaires (enrobé, granulats, liant de régénération), remise en œuvre du mélange obtenu au profil souhaité et compactage.

• Abréviations

ALIZE	Programme de calcul permettant de déterminer les contraintes et déformations dans les couches d'une chaussée	R1	Niveau de qualité d'un retraitement en place obtenu avec les meilleurs matériels et méthodes disponibles
BBM	Béton Bitumineux Mince	R2	Niveau de qualité d'un retraitement en place qui n'est acceptable que pour des chaussées faiblement sollicitées
BBSG	Béton Bitumineux Semi-Grenu	r/R	Rapport entre les résistances en compression obtenues au cours de l'essai Duriez pour apprécier la tenue à l'eau des enrobés
BBTM	Béton Bitumineux Très Mince	Setra	service d'Études techniques des routes et autoroutes
BDR	Banque de Données Routières	SOPAQ	Schéma Organisationnel du Plan d'Assurance de la Qualité
BPU	Bordereau de Prix Unitaires	TBA	Température Bille et Anneau d'un bitume
CAM	Coefficient d'Agressivité Moyen du poids lourd par rapport à l'essieu de référence	Tci	Trafic Cumulé de classe i exprimé en nombre de poids lourds
CATM	Certificat d'Aptitude Technique des Matériels routiers	Tj	Trafic journalier moyen annuel de classe j, exprimé en nombre de poids lourds
CCTP	Cahier des Clauses Techniques Particulières	V _B	Valeur au bleu de méthylène sur le 0/2 mm exprimée en g/kg (norme NF EN 933-9)
CU	Charge Utile d'un poids lourd	V _{BS}	Valeur au bleu de méthylène d'un sol (norme P 94-068)
D	Dimension du plus gros élément d'un matériau 0/D au sens de la norme XP P 18-540		
DE	Détail Estimatif		
ECF	Enrobé Coulé à Froid		
ES ou ESU	Enduit Superficiel d'Usure		
GEL I D	Programme de calcul permettant d'apprécier le comportement au gel d'une structure		
GTR	Guide Technique pour la Réalisation des terrassements et couches de forme		
HEPIL	Coefficient qui permet d'apprécier les performances d'un matériel de retraitement grâce aux 5 critères suivants : Homogénéité obtenue, respect de l'épaisseur, puissance disponible pour la fragmentation, possibilité d'injecter un liquide, système de dosage d'un Liant liquide (Eau + liant, émulsion...)		
LCPC	Laboratoire Central des Ponts et Chaussées		
MJA	Moyenne Journalière Annuelle (nombre de véhicules)		
0/D	Fraction granulométrique définissant un matériau dont la granularité va de 0 à D		
PAQ	Plan d'Assurance de la Qualité		
PCG	Presse à Cisaillement Giratoire		
PL	Poids Lourds		
PST	Partie Supérieure des Terrassements		
P _{TAC}	Poids Total Autorisé en Charge d'un poids lourd		

Références bibliographiques et normatives

Références bibliographiques

• Retraitement à froid des chaussées à l'émulsion de bitume. Méthodologie d'étude, suivi de réalisation et de comportement.

BL n° 183 - Janvier/Février 1993 - JF. Lafon.

• Emission de poussières de chaux et/ou de liants hydrauliques sur les chantiers de traitement de sols et de retraitement des chaussées. Réalités et remèdes. *M. Schaeffner - JC. Valeux - BL n° 198 - 1995.*

• Le point sur le retraitement en place à froid des anciennes chaussées.

BL n° 212 - Novembre/Décembre 1997 - M. Lefort.

• Matériels.

BL numéro spécial XVIII - Mai 1995.

• Routes n° 46. Voirie à faible trafic : le retraitement des chaussées en place au ciment - 1993.

• Revue générale des routes et aérodromes 172 - Novembre 1993 - Dossier recyclage.

• Revue générale des routes et aérodromes 651 - Retraitement au ciment d'anciennes chaussées. Étude de l'atelier de reconditionnement de chaussées ARC 600.

R. Baronx - G. Morel - JC. Valeux.

• Revue générale des routes et aérodromes 716 - L'atelier de retraitement de chaussées ARC 700. L'efficacité du double malaxage in-situ.

JC. Valeux - JM. Riviere.

• Revue générale des routes et aérodromes hors série 1994. Route. Innovation. Environnement.

• Revue générale des routes et aérodromes 745 - Novembre 1996 - Retraitement en place au NOVACOL.

• Revue générale des routes et aérodromes 788 - Octobre 2000 - Travaux d'été pour aéroports français.

• Chaussées neuves à faible trafic. Manuel de Conception - LCPC - Setra - 1981.

• Commission du matériel : mémento. Procédure d'avis technique : matériels de traitement et de reconditionnement des chaussées à froid (Octobre 88).

• Guide technique pour la Réalisation des terrassements et couches de forme (GTR).

Document LCPC - Setra - Septembre 1992.

• Guide technique conception et dimensionnement des structures de chaussées.

Document LCPC - Setra - Décembre 1994.

• Catalogue de structures types de chaussées neuves - LCPC - Setra - 1998.

• Cahier des clauses techniques générales (CCTG).

Fascicule n° 23 - Fourniture de granulats employés à la construction et à l'entretien des chaussées (BO/97 - 2T0 - 1998).

Fascicule n° 25 - Exécution des corps de chaussées (BO/96 2T0 - 1996).

• CCTP type ; BPU ; DE pour le retraitement en place des anciennes chaussées aux liants hydrauliques (document CIMBETON).

• Utilisation des matériaux de Haute Normandie. Guide technique. Le retraitement en place à froid des anciennes chaussées.

CETE Normandie Centre - DRE Haute Normandie - Mars 2000.

• Certificat d'Aptitude Technique des Matériels routiers (CTAM). Compacteurs vibrants et compacteurs à pneus (Setra 1995).

• Avis technique n° 77. Epandeur ARC DOSAGE n° 2 (CFTR 1993).

• Avis technique n° 94. Atelier de retraitement ARC 700 (CFTR 1996).

• Avis technique n° 95. Epandeur ARC DOSAGE n° 1 (CFTR 1996).

• Notes d'information Setra/CSTR n° 23, n° 42 et n° 99.

Références normatives

- Norme XP P 18-540. Granulats - Définitions - Conformité - Spécifications.
- Norme FP P 18-940. Granulats - Guide d'interprétation de la norme XP P 18-540.
- Norme NF P 94-068. Sols - Reconnaissance et essais - Mesure de la qualité et de l'activité de la fraction argileuse - Détermination de la valeur de bleu de méthylène d'un sol par l'essai à la tache (AFNOR - 1993).
- Norme 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 (AFNOR - 1997).
- Norme 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.
- Norme NF P 98-082. Détermination des trafics routiers pour le dimensionnement des structures de chaussées.
- Norme 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 (AFNOR - 1992).
- Norme NF P 98-115. Assises de chaussées - Exécution des corps de chaussées.
- Norme NF P 98-121. Assises de chaussées - Graves émulsion - Définition, classification, caractéristiques, fabrication, mise en œuvre (AFNOR - 1993).
- Norme NF P 98-129. Assises de chaussées - Graves non traitées - Définition - Composition - Classification (AFNOR - 1994).
- Norme NF P 98-150. Enrobés hydrocarbonés - Exécution des corps de chaussées, couches de liaison et couches de roulement.
- Norme NF P 98-711. Matériels pour la construction et l'entretien des routes - Traitement en place ou retraitement : matériels de préparation des sols et de stockage des liants pulvérulents - Terminologie (AFNOR - 1993).
- Norme NF P 98-712. Matériels pour la construction et l'entretien des routes - Traitement en place ou retraitement : épandeurs de liants pulvérulents et malaxeurs de sols en place - Terminologie (AFNOR - 1993).
- Norme NF P 98-713. Matériels pour la construction et l'entretien des routes - Traitement en place ou retraitement : fraiseuses - Terminologie (AFNOR - 1993).
- Norme NF P 98-736. Matériels de construction et d'entretien des routes - Compacteurs - Classification (AFNOR - 1992).
- Norme NF P 98-760. Matériels de construction et d'entretien des routes - Compacteurs à pneumatiques - Evaluation de la pression de contact au sol (AFNOR - 1991).
- Norme NF P 98-761. Matériels de construction et d'entretien des routes - Compacteurs - Evaluation du moment d'excentrique (AFNOR - 1991).
- Norme NF EN 197-1. Ciments partie 1 - Composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants.
- Norme NF P 15-108. Liants hydrauliques routiers - Composition, spécification et critères de conformité.



Ce livret a été réalisé à partir de l'expérience française acquise depuis le début des années 80 sur des chantiers de retraitement à l'émulsion de bitume.

D'autres formes de liants hydrocarbonés élaborés pour un retraitement à froid sont en développement plus ou moins avancé (mousse de bitume). L'emploi de tels liants en retraitement à froid d'anciennes chaussées fait appel aux mêmes principes de base que ceux décrits dans le présent livret.

Le retour d'informations sur la réalisation et le comportement des travaux réalisés avec de tels liants reste assez restreint.

Ce livret a été rédigé, sous la coordination de M. JF. Lafon par :

MM. M. Bertaud - D. Gaillard - D. Thouret -
S. Soliman - JC. Valeux.



Livret I - Liants hydrocarbonés

Sommaire

1 - Principe de la technique - Objectifs et domaine d'emploi	30
1.1 - Principe - définitions	30
1.2 - Objectifs	31
1.3 - Domaine d'emploi	31
1.4 - Avantages et limites de la technique	31
1.5 - Les différentes classes de retraitement	32
2 - Les études	33
2.1 - Diagnostic d'état de la chaussée existante	33
2.2 - Caractérisation des matériaux en place	33
2.3 - Faisabilité de la technique	33
2.4 - Etude de formulation et objectifs techniques	34
2.5 - Dimensionnement	34
3 - Les matériels	37
3.1 - Fonction fragmentation	37
3.2 - Fonction apport d'ajouts liquides	37
3.3 - Fonction malaxage	37
3.4 - Critères de performances des matériels de retraitement	38
3.5 - Matériels et niveaux de qualité du retraitement	39
3.6 - Rendement de l'atelier de retraitement	39
4 - Modalités d'exécution	40
4.1 - Fabrication des matériaux retraités	40
4.2 - Mise en œuvre des matériaux retraités	40
4.3 - Dispositions particulières	41
5 - Contrôles	42
5.1 - Avant travaux	42
5.2 - Pendant les travaux	42
5.3 - Après les travaux	42
Annexe 1 - Prise en compte du trafic pour le dimensionnement de la structure	44
Définition du poids lourd	44
Calcul du nombre cumulé de poids lourds	44
Calcul du nombre de sollicitations pour le dimensionnement	44
Tableau de correspondance	45
Annexe 2 - Contenu d'une épreuve de convenue	46

1 - Principe de la technique

Objectifs et domaine d'emploi

1.1 - Principe - définitions

Cette technique consiste à retraiter tout ou partie d'une chaussée avec de l'émulsion de bitume, régénérant ou non, avec ou sans apport complémentaire de matériaux granulaires.

On distingue principalement :

- le retraitement de chaussée essentiellement constituée de matériau non traité et dont la couverture bitumineuse est faible (souvent plusieurs enduits d'usure, d'épaisseur inférieure ou égale à 4 cm) ;
- le retraitement d'enrobés bitumineux d'épaisseur supérieure à 4 cm sur chaussée dont les assises sont non traitées ou traitées au bitume ou aux liants hydrauliques.

Ces différents retraitements aboutissent, suivant le cas, à la réalisation d'une couche de base ou de liaison qui nécessite une couche de roulement adaptée aux conditions de trafic et de site : enduit, enrobé coulé à froid, béton bitumineux...

Ces différentes classes de retraitement (I, II et III) sont appelées dans le tableau 1.

Type de chaussée à retraiter	Enduits superficiels ou enrobés < 4 cm sur grave non traitée	Enrobés sur graves hydrauliques ou sur graves non traitées	Enrobés sur enrobés
Etat initial	Matériaux non liés propres (PS > 60) tel que GRH, GNT Macadam à l'eau en semi pénétration, chaussées en grave concassée imprégnées, etc....	- vieillissement et usure des couches de surface en enrobés - fissurations importantes - décollement d'interfaces	- vieillissement et usure des couches en enrobés - décollement d'interfaces
Classe	I	II	III
Principe	Amélioration des caractéristiques mécaniques et géométriques de la chaussée avec plus ou moins d'ancienne assise et éventuellement traitement de l'interface et régénération du bitume en classe II		Recyclage de la couverture bitumineuse, traitement de l'interface et régénération du bitume
Objectifs	- renforcement structurel - correction de profils	- régénération - suppression des décollements - création d'une couche anti-remontée de fissures (sur GH)	- régénération - suppression des décollements
Epaisseur courante de traitement	de 10 à 15 cm	de 5 à 12 cm incluant les interfaces décollées et la partie supérieure de la GH, si celle-ci est décohésionnée ou de la GNT	de 5 à 12 cm incluant les interfaces décollées
Liants utilisés	Emulsion de bitume de classe 70/100 ou 160/220	Emulsion de bitume pur ou de bitume régénérant	

Tableau 1 - Classification des retraitements en place à l'émulsion de bitume

1.2 - Objectifs

L'objectif est de recréer, à partir d'une chaussée dont les caractéristiques sont insuffisantes eu égard aux qualités d'usage souhaitées, une couche homogène constituée de matériaux liés.

Cette opération est souvent accompagnée d'une régénération du bitume en place.

1.3 - Domaine d'emploi

Cette technique est applicable dans tous les cas de réhabilitation de corps de chaussées plus particulièrement en rase campagne mais aussi en traversée d'agglomération (Cf. chapitre 2.3 de la présentation du guide).

1.4 - Avantages et limites de la technique

Avantages environnementaux

- Réutilisation des matériaux en place.
- Pas de déchets de chantier.
- Technique à froid économe en énergie et sans poussière.
- Remise en circulation immédiate et gêne réduite à l'utilisateur.
- Réduction ou suppression de la sur largeur de plateforme qu'entraîne un rehaussement du profil.

Avantages techniques

- Comme toutes les techniques bitumineuses à froid, le retraitement à l'émulsion accepte certaines variations de compositions, d'épaisseurs, sans évolution ultérieure des profils et s'oppose très efficacement à la remontée des fissures de retrait des couches sous-jacentes.
- Restructuration de couches dégradées conduisant à :
 - un traitement de l'interface, des fissures, du faïençage,
 - une amélioration de l'imperméabilité,
 - la régénération éventuelle du liant. Un simple rechargement ne permettrait pas de régler ces défauts.
- Homogénéisation des caractéristiques mécaniques de la couche traitée, et amélioration des performances mécaniques en classe I.
- Traitement à base de liant bitumineux conduisant à des matériaux de comportement dit "souple".
- Amélioration de l'uni longitudinal, du profil transversal et de l'homogénéité de la chaussée.

Avantages économiques

- Economie de granulats et de transport ; moindre fatigue du réseau adjacent par les transports des matériaux et exploitation sous trafic plus aisée grâce à l'utilisation des matériaux en place.
- Réduction du rehaussement des accotements, des accès, des seuils, des bordures.
- Possibilité de ne traiter qu'une voie et, en classe I, de remettre en forme la chaussée.

Limites de la technique

- Conditions climatiques et période de réalisation ne permettant pas un mûrissement correct du matériau traité à l'émulsion de bitume.
- Matériaux non adaptés aux critères de faisabilité évoqués au paragraphe 2.3 en particulier en classe I : pavés, bétons de ciment, incompatibilité émulsion / matériaux (test d'enrobage)...
- Présence de nombreuses émergences de réseaux en surface (cf. chapitre 2.2 de la présentation du guide).
- Trafic \leq T1. Au-delà une étude particulière est à réaliser.

Un chantier a été réalisé en 1986 sous trafic T0 avec satisfaction.



La chaussée avant retraitement - Combelouvière (Savoie).

1.5 - Les différentes classes de retraitement

L'exécution des travaux de retraitement des chaussées en place à l'émulsion de bitume intègre différentes opérations que l'on peut décrire comme suit :

Retraitement d'enrobés (classes II et III)

- apporter éventuellement un correctif granulaire avant fraisage,
- fraiser l'enrobé à retraiter à une dimension $\leq 0/25$, (99 % de passant à 40 mm et élimination de plaques d'enrobés s'il y a lieu par écrêtage),
- ajouter à ce fraisat de l'eau pour permettre l'enrobage,
- ajouter ensuite du liant sous forme d'émulsion,
- procéder au mélange du liant au sein du fraisat humidifié,
- répandre le matériau soit à l'aide d'un finisseur, soit à l'aide d'une machine multifonction assurant le mélange et le répandage,
- compacter à l'aide de cylindres vibrants et de compacteurs à pneumatiques,
- réaliser si nécessaire un enduit de scellement. Cette opération n'est pas indispensable en saison chaude, lorsque le dosage en liant est élevé ou s'il n'y a pas de risque de pluie forte dans les 48 heures qui suivent la mise sous trafic.



Fraisage préliminaire avant retraitement - Combelouvière (Savoie).

Retraitement de chaussées en matériaux non liés (classe I)

La technique est très proche de celle décrite ci-dessus aux différences près suivantes :

- le fraisage d'un matériau non traité ne modifiant que peu la granularité et compte tenu des épaisseurs de retraitement (généralement supérieures à 10 cm), la dimension des éléments après retraitement doit correspondre au maximum à 0/31,5 (99 % de passant à 50 mm),
- la correction éventuelle de la granularité est possible par apport d'un matériau correcteur et/ou complémentaire,
- sur chaussée à faible trafic, la mise en œuvre peut être réalisée à la niveleuse.



Compactage des matériaux après retraitement - Combelouvière (Savoie).

2 - Les études

Avant de réaliser une opération de retraitement en place de chaussée, il est impératif d'effectuer une étude préalable plus ou moins détaillée suivant le cas : problème à résoudre, niveau de trafic, objectif visé, risques admis...

Les paramètres suivants sont à prendre en compte :

- Le diagnostic d'état de la chaussée existante.
- La caractérisation des matériaux en place.
- La faisabilité de la technique.
- La géométrie et le dimensionnement du retraitement.
- La formulation du matériau retraité.

2.1 - Diagnostic d'état de la chaussée existante

Cette première phase, qui n'est pas spécifique au retraitement en place, vise à déterminer l'homogénéité des zones à traiter et les causes probables des dégradations constatées, facteurs à intégrer dans la définition du projet.

Ce diagnostic d'état est établi à partir :

- des données existantes (BDR),
- de relevés visuels,
- de sondages, (minimum 1 par 500 ml, davantage si la section est hétérogène)
- de mesures de déflexion, si nécessaire.

Remarque

une auscultation en continu à l'aide d'un matériel radar permet de réduire le nombre de sondages, de vérifier l'homogénéité des matériaux et de détecter les réseaux enterrés non répertoriés au préalable.

2.2 - Caractérisation des matériaux en place

Les matériaux de la chaussée existante sont caractérisés par :

- la composition granulaire,
- les caractéristiques et la teneur en liant des matériaux bitumineux,
- la propreté des matériaux non liés.

Les sondages permettent également d'apprécier la qualité des interfaces et les épaisseurs des différentes couches de la chaussée.

2.3 - Faisabilité de la technique

Si le retraitement permet effectivement de compenser ou corriger les insuffisances de la chaussée existante, la faisabilité du retraitement en place est établie à partir des critères suivants :

Classe I

- Caractéristiques des matériaux (sauf étude particulière justificative)

Propreté : (NF EN 933-9) $V_B \leq 1$.

(étude spécifique si $V_B > 1$)

Fuseau granulaire après correction si nécessaire :

- $D \leq 31,5$ mm (99 % de passant à 50 mm)
- 25 à 35 % de passant à 2 mm
- 4 à 8 % de passant à 0,08 mm.

- Epaisseur du retraitement limitée à 15 cm. (étude spécifique si $e > 15$ cm)

Classe II

- Proportion de matériaux "blancs" limitée à 25 % du matériau à retraiter.

- Epaisseur du retraitement limitée à 12 cm (étude spécifique si $e > 12$ cm).

- D du matériau après fragmentation : $D \leq 25$ mm (99 % de passant à 40 mm).

- Caractéristiques du liant vieilli :

pénétrabilité moyenne $25^\circ\text{C} \geq 10 / 10$ mm

TBA (70°C en moyenne $\leq 75^\circ\text{C}$ maximum).

Classe III

- Epaisseur du retraitement limitée à 12 cm (étude spécifique si $e > 12$ cm).

- D matériau après fraisage : $D \leq 25$ mm (99 % de passant à 40 mm).

- Caractéristiques du liant vieilli :

pénétrabilité $25^\circ\text{C} \geq 10 / 10$ mm

TBA $\leq 75^\circ\text{C}$ en moyenne (80°C maximum).

2.4 - Etude de formulation et objectifs techniques

La formulation du matériau retraité est déterminée à partir :

- de l'éventuelle correction granulaire ou d'apport de matériau complémentaire (classe I),
- du choix du liant d'ajout et de son dosage en fonction des objectifs techniques, par la loi des mélanges (régénération ou non, caractéristiques mécaniques du matériau obtenu)
- de la qualité d'enrobage, fonction des caractéristiques de l'émulsion et de la teneur en eau des matériaux à retraiter.

Les dosages optimaux en liant et en eau sont fixés à partir de l'essai Duriez et/ou l'essai à la presse à cisaillement giratoire.

A titre indicatif, les teneurs en liant résiduel d'ajout sont généralement de :

- 3 à 5 % en classe I
- 1 à 3 % en classe II
- jusqu'à 2 % en classe III.

Les principaux objectifs techniques à atteindre nécessairement lors de l'étude de formulation en fonction des classes de retraitement, sont les suivants :

Classe I

- Essai Duriez (NF P 98 251-4) :
 $r/R \geq 0,55$.
 $R_c (14j) \geq 1,5 \text{ MPa}$.

Classe II

• Caractéristiques du liant après retraitement : L'objectif est d'obtenir une baisse de la Température de ramollissement Bille et Anneau. (T_{BA}). La variation de T_{BA} doit être comprise entre 5 et 15°C.

- Essai Duriez :
pourcentage de vides ≤ 15
 $r/R \geq 0,65$
 $R_c (14j) \geq 3 \text{ MPa}$.

- Essai PGG (NF P 98-252) :
pourcentage de vides $\leq 25 \%$, à 100 girations.

Classe III

• Caractéristiques du liant après retraitement : L'étude doit conduire à une modification de la température de ramollissement bille et anneau (T_{BA}). Le gain de T_{BA} doit correspondre à une baisse comprise entre 5 et 15°C.

- Essai Duriez :
pourcentage de vides $\leq 14 \%$
 $r/R \geq 0,70$

$$R_c (14j) \geq 5 \text{ MPa}$$

- Essai PGG :
pourcentage de vides $\leq 25 \%$, à 100 girations.

2.5 - Dimensionnement

L'étude de dimensionnement n'est pas systématique ni indispensable pour les chaussées à faible trafic ou lorsque le défaut de l'ancienne structure ne concerne que les couches de surface (problème d'interface, vieillissement...).

Cependant, le sous-dimensionnement est une des causes d'échecs, aussi cette démarche est nécessaire lorsque le retraitement doit corriger une insuffisance structurelle majeure ou pour des chaussées dont le trafic est supérieur à T3.

Selon la qualité visée du retraitement, le type de travaux et le niveau de trafic, le matériau retraité peut servir de couche de base, de liaison voire de roulement (T4 - T5).

2.5.1 - Choix de la couche de roulement

Les couches de roulement les plus couramment utilisées sont :

pour les trafics inférieurs à T3
- un enduit superficiel ou un enrobé coulé à froid.

pour les trafics T3 et T2
- soit un enduit superficiel
- soit un enrobé coulé à froid
- soit un béton bitumineux très mince.

pour les trafics T2' et T1
- soit un béton bitumineux mince
- soit un béton bitumineux très mince.

pour les trafics T0
- étude particulière.

Remarque

Le choix de la couche de roulement dépend de la classe de trafic et des objectifs en terme de niveau de service fixés par le maître d'ouvrage. Celui-ci peut éventuellement faire référence :

- aux indications développées dans le guide technique conception et dimensionnement des structures de chaussées,
- aux propositions de couche de surface faites dans le catalogue de structures types de chaussées neuves 1998.

2.5.2 - Portance du sol support

La détermination du niveau de portance du sol support se pose pour le retraitement de classe I. Pour les retraitements de classes II et III, le niveau de portance du sol support est intégré dans la modélisation de l'ensemble de l'ancienne structure en termes d'épaisseur des couches et de module des matériaux effectivement rencontrés.

Le niveau de portance du sol support est soit :

- Mesuré (module EV2), s'il y a fraisage préalable de la chaussée (cas exceptionnel).
- Estimé par modélisation à partir des mesures de déflexions (d) réalisées sur l'ancienne chaussée (lorsque celle-ci est de type souple).

2.5.3 - Dimensionnement de la structure

a) Trafic

La manière de prendre en compte le trafic pour le dimensionnement de la structure est présentée en annexe 1.

Pour le calcul des structures on considère un Coefficient d'Agressivité Moyen (CAM) de 0,5 pour les chaussées dont le trafic est inférieur à T2 et 0,8 pour les autres.

Pour la justification de la tenue de la plate-forme support de chaussée, les valeurs du CAM sont fixées dans le tableau 2.

b) Valeurs de référence pour le dimensionnement

Pour les différentes classes de retraitement, on retiendra, pour la couche retraitée, la valeur de module fixée dans le tableau 3.

Pour les autres paramètres nécessaires au dimensionnement on se référera au Guide technique Conception et dimensionnement des structures de chaussées LCPC/Setra de Décembre 1994 et au Catalogue de Structures types de chaussées neuves de 1998.

c) Conditions d'interface

Les techniques d'exécution des retraitements de classes II et III assurent l'accrochage de la couche retraitée à son support par la mise en œuvre d'une couche d'accrochage.

Comme pour les assises bitumineuses, pour le dimensionnement, l'interface nouvelle assise/support peut être considérée comme collée.

Classe de trafic (MJA)	T5	T4	T3 ⁻	T3 ⁺	≥ T2
CAM	0,4	0,5	0,7	0,8	1

Tableau 2 - Valeurs du coefficient d'agressivité moyenne pour la justification de la tenue de plate-forme support de chaussée.

Classe du retraitement	Module à 15°C et Rc Duriez (14j) à considérer pour le matériau retraité	Critère de dimensionnement
I	E = 1500 MPa si 1,5 < Rc < 2,2 MPa E = 2500 MPa si 2,2 < Rc < 3 MPa	Souvent la déformation verticale du sol support (ϵ_z)
II avec 75 à 90 % d'agrégat bitumineux dans le matériau	E = 2000 MPa si Rc < 4 MPa E = 3000 MPa si Rc ≥ 4 MPa	Déformation verticale du sol support (ϵ_z) et de la couche retraitée en vérifiant la déformation en extension ϵ_t à la base de la couche bitumineuse qui couvre le retraitement, en cas d'épaisseur ≥ 4 cm.
II avec plus de 90 % d'agrégat bitumineux dans le matériau	E = 3000 MPa si Rc < 4 MPa E = 4000 MPa si Rc ≥ 4 MPa	
III	E = 4000 MPa	Déformation verticale du sol support (ϵ_z) et déformation horizontale (extension ϵ_t) à la base de la couche bitumineuse qui couvre le retraitement, en cas d'épaisseur ≥ 4 cm.

Tableau 3 - Caractéristiques mécaniques du matériau retraité à considérer pour le dimensionnement.

d) Comportement au GEL/DEGEL

Si une vérification au gel/dégel de la nouvelle structure est demandée par le maître d'ouvrage, elle se fait selon la méthode décrite dans le Guide technique Conception et dimensionnement des structures de chaussées LCPC/Serra de Décembre 1994.

L'appréciation du comportement au gel/dégel repose sur la détermination de l'indice de gel admissible de la chaussée et s'effectue en quatre étapes :

1. appréciation de la sensibilité au gel des sols,
2. détermination de la protection thermique apportée par les matériaux non gélifs des couches de chaussée et éventuellement de la partie de la couche de forme restante,
3. détermination de l'indice de gel admissible de la chaussée,
4. comparaison avec l'indice de gel de référence.

Cette vérification n'est pas nécessaire si l'ancienne chaussée assurait une protection au gel suffisante et si les objectifs n'ont pas été changés. (même si le sol support est gélif et y compris si le climat est rigoureux).

La vérification au gel est par contre nécessaire si le gel est la cause des dégradations amenant l'étude de réhabilitation de la chaussée.



3 - Les matériels

Le choix de matériels adaptés au cas de chantier à réaliser est très important pour la réussite de l'ouvrage. Les progrès technologiques des constructeurs de matériels, les spécifications techniques de l'administration et le savoir faire des entreprises pour le retraitement ont permis de mettre au point des matériels performants et bien adaptés au travail à réaliser. Afin d'aider au bon choix du matériel, le maître d'œuvre et l'entreprise disposent :

de **normes** établissant la terminologie et les principales spécifications techniques,

d'**avis techniques** et de **certificats d'aptitude technique** (pour certains matériels) donnant l'aptitude et le niveau de performances,

de **codification** des principales caractéristiques techniques influençant la qualité du retraitement.



Rotor de fraisage, atelier de retraitement NOVACOL (COLAS).

3.1 - Fonction fragmentation

La vitesse linéaire des outils, leur forme, leur nombre, leur disposition sur le tambour de fraisage, leur usure, interviennent dans la fragmentation des matériaux.

Suivant la dureté des matériaux rencontrés, il est nécessaire de changer plus ou moins fréquemment les outils du rotor de fraisage : la régularité de l'épaisseur de retraitement et la qualité de la fragmentation en dépendent.

Pour atteindre les objectifs de granularité du matériau fragmenté (valeur de D), certains matériels disposent d'une grille d'écrêtage ou crible qui permet de recycler les éléments trop gros ou plaques d'enrobés issues de la fragmentation de la chaussée (cas de non collage de la couche de roulement à retraiter).

3.2 - Fonction apport d'ajouts liquides

L'apport d'eau est correctement réalisé et maîtrisé lorsqu'il se fait, comme pour un liant liquide, au moment du malaxage.

L'introduction du liant (émulsion de bitume) se fait directement par une rampe située dans la chambre de la machine de fragmentation ou dans le malaxeur associé.

Pour chaque ajout liquide, le débit est assuré par une pompe volumétrique asservie à la vitesse de translation de la machine de fraisage ou/et de malaxage ou au poids de matériau retraité mesuré sur un tapis peseur. Le débit est réglé par étalonnage de la pompe volumétrique préalablement au chantier et son contrôle est assuré, soit par un compteur volumétrique, soit par un débitmètre.



Ajout d'émulsion - Atelier de retraitement RECYCOLD - Aéroport de Limoges Bellegarde.

3.3 - Fonction malaxage

La fonction malaxage (homogénéisation) est nécessaire pour mélanger intimement les matériaux, l'eau d'apport et l'émulsion. Elle peut être obtenue par le brassage vertical de l'outil de fragmentation et :

- soit par un brassage transversal réalisé par les différents transferts du produit
- soit par le passage dans un malaxeur associé du type centrale.

3.4 - Critères de performances des matériels de retraitement

La définition et l'acceptation des matériels spécifiques à un chantier de retraitement peut être réalisée en fonction de cinq critères notés de 3 à 1 regroupés sous le coefficient HEPIL.

- **H** : qualité d'Homogénéisation du matériau avec l'émulsion suivant que le matériel dispose ou ne dispose pas d'un malaxeur associé au rotor de fragmentation.
- **E** : maîtrise de l'Épaisseur de retraitement de la chaussée.
- **P** : Puissance disponible pour fragmenter l'ancienne chaussée.
- **I** : présence d'un dispositif d'Injection de l'eau.
- **L** : dosage en Liant sous forme liquide (émulsion de bitume)

Le tableau 4 donne les conditions dans lesquelles sont notés les différents critères.

Remarques

La norme NF P 98-115 pour l'exécution des corps de chaussées précise que ces matériels doivent être à rotor horizontal et équipés d'un indicateur de profondeur. Les systèmes de dosage des liquides doivent assurer une précision minimale de 2 %.

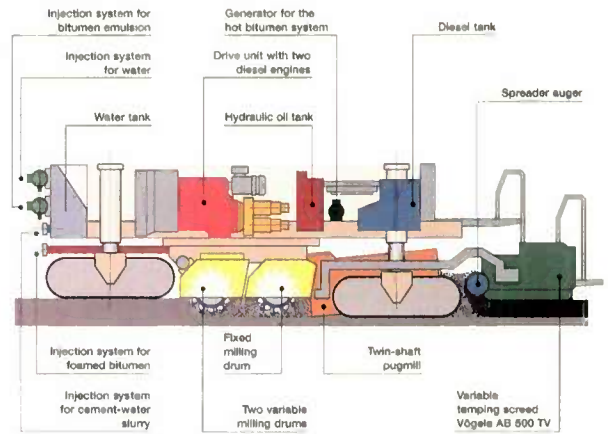


Schéma de fonctionnement WIRTGEN WR 4200.

Critères		NOTE		
		3	2	1
H	Homogénéisation du matériau avec le liant	Homogénéisation verticale et transversale (malaxeur associé ou finisseur)	Homogénéisation verticale uniquement	Homogénéisation limitée
E	Coefficient de variation de l'épaisseur fraisée	Réglage et contrôle de l'épaisseur avec fonction supplémentaire de maintien à la profondeur ⁽¹⁾	Réglage et contrôle de l'épaisseur	Réglage de l'épaisseur
P	Puissance disponible par mètre linéaire de rotor de fraisage	> 70 kW	35 < P ≤ 70 kW	≤ 35 kW
I	Possibilité d'injecter l'eau dans la chambre de malaxage ou de fragmentation	Pompe à débit variable asservi à la translation et rampe de largeur variable	Pompe à débit variable asservi à la translation	pas d'asservissement
L	Dosage du liant sous forme de liquide (émulsion de bitume)	Pompe à débit variable asservi à la vitesse de translation ou au poids de matériau retraité + débitmètre	Pompe à débit variable asservi à la vitesse de translation ou au poids de matériau à retraiter + compteur volumétrique	Pompe à débit variable non asservi

⁽¹⁾ La fonction de maintien à la profondeur du rotor de fraisage empêche la remontée de celui-ci en cas d'augmentation trop importante du couple de fraisage. La remontée du rotor ne peut se faire que manuellement par le conducteur.

Tableau 4 - Critères de qualification des matériels de retraitement.

3.5 - Matériels et niveaux de qualité du retraitement

Deux "niveaux de qualité", R1 et R2, sont envisagés pour les chantiers de retraitement en place tels que définis dans le tableau 5.

Le niveau de qualité de retraitement que le maître d'œuvre peut imposer dans le cadre d'un appel d'offre ou accepter dans le cadre d'une variante est fixé en tenant compte de la fonction de la nouvelle assise dans la chaussée (couche de fondation ou de base ou de liaison) et du trafic de la voie.

Le tableau 6 précise le choix de qualité de retraitement à faire en fonction du cas de chantier.

Ces niveaux de qualité ne peuvent être atteints qu'à deux conditions :

- que l'étude préalable démontre que la qualité des matériaux disponibles dans l'ancienne chaussée permette d'obtenir le niveau requis (homogénéité, performances mécaniques...),
- que les matériels envisagés ou proposés permettent d'atteindre l'objectif. Cette condition est satisfaite lorsque la valeur du coefficient HEPIL du matériel tel que défini dans le tableau 6 permet d'obtenir la qualité de retraitement souhaitée.

Remarque

Pour le cas particulier des chaussées présentant des hétérogénéités transversales importantes et une classe de trafic > T3, seule une fraiseuse associée à un malaxeur (machine multifonction) ou une fraiseuse associée à un finisseur convient.

	3	2	1
H			
E	R1		R2
P			
I			
L			

Compactage :

Emploi de compacteurs V3/V2 et P1/P2

Seuls les matériels de ce type permettent d'obtenir une qualité de retraitement R1. Ils permettent également la qualité R2.

Les matériels correspondant à ces critères ne permettent qu'un retraitement de qualité R2.

Matériels refusés.

Tableau 5 - Définition des niveaux de qualité des retraitements en fonction des performances du matériel.

3.6 - Rendement de l'atelier de retraitement

Le rendement de l'atelier de retraitement dépend du matériau en place. Il se situe entre 1500 et 5000 m²/jour.

Classe de retraitement	Fonction de la couche retraitée	Classe de trafic	Qualité de retraitement	Qualité du retraitement
I	Base	T > T2	R1	Pourcentage de vides moyen inférieur ou égal à 20 % ⁽¹⁾
	ou	T3 ≤ T ≤ T2	R1 souhaitable R2 admis en fondation	
	fondation	< T3	R2 admis	
II ou III	Base	T > T2	R1	à 20 % ⁽¹⁾
	ou	T3 ≤ T ≤ T2	R1	
	liaison	T < T3	R2 admis	

⁽¹⁾ Les matériaux retraités à froid nécessitent une énergie de compactage puissante. Malgré cela, les valeurs de compacité en place relevées sur les chantiers antérieurs depuis plus de 15 ans montrent que celles-ci conduisent à des teneurs en vides moyennes pouvant atteindre 20 %. Bien que le pourcentage de vides après compactage soit élevé, on n'enregistre pas d'ornièrage et si un léger gain de compacité est constaté sous circulation, il n'est pas préjudiciable au profil en travers.

Tableau 6 - Choix de la qualité du retraitement en fonction du cas de chantier.

4 - Modalités d'exécution

4.1 - Fabrication des matériaux retraités

Fragmentation

Dans le cas du retraitement d'un enrobé, le fraisat obtenu doit, au niveau du D, respecter la valeur de 25 mm. Si des éléments supérieurs à 40 mm subsistent (plaques...) ceux-ci doivent être retirés ou réduits.

Les pics de la fraise doivent être en bon état et d'usure homogène ; ils doivent être fréquemment vérifiés et changés dès que leur usure le nécessite.

Ajouts d'eau et d'émulsion

La répartition doit être homogène pour ces deux fluides. Le dosage en eau d'ajout doit être ajusté en fonction de la teneur en eau de l'agrégat, des conditions climatiques et des résultats de l'étude de formulation voire de l'épreuve de convenance vis-à-vis du compactage. Si on constate sur chantier un % de fines significativement différent de celui de l'étude de formulation, le dosage en émulsion sera ajusté.

Malaxage

L'enrobage du matériau fraisé doit être complet et homogène, témoin d'une bonne répartition de l'émulsion au sein du fraisat (contrôle visuel ; l'ensemble du matériau doit présenter un voile homogène).



Atelier NOVACOT, rampe d'épandage de la couche d'accrochage située sous le releveur de cordon.

4.2 - Mise en œuvre des matériaux retraités

Couche d'accrochage (à la base du retraitement)

Le mode d'exécution des retraitements en place ne permet pas de réaliser la mise en œuvre de la couche d'accrochage avec une épandeuse. Elle est actuellement appliquée par le biais d'une rampe intégrée à l'atelier de mise en œuvre.

Les retraitements de classe I ne nécessitent pas de couche d'accrochage.

Dans les cas de retraitements de classes II et III, l'accrochage de la couche retraitée sur le support est indispensable et justifie une technique d'exécution permettant de le garantir.

Il est à noter que dans le cas d'emploi d'un releveur de cordon, il doit nettoyer le mieux possible le fond de forme et notamment reprendre les éléments fins de l'agrégat pour que la couche d'accrochage soit mise sur un support propre.

Répannage

Le niveau de qualité d'uni est favorablement influencé par l'utilisation d'un finisseur à table lourde (table vibrante + dameurs).

Compactage

C'est un matériau dont la difficulté de compactage requiert une énergie de compactage élevée. Il faut rechercher la compacité maximale compatible avec



Aspect du matériau retraité à l'émulsion après compactage.



Atelier de retraitement
WIRTGEN W 4200.

4.3 - Dispositions particulières

Scellement de surface

Après le compactage et comme indiqué au paragraphe 1.5 du présent livret, il peut être procédé au répandage d'un voile d'émulsion correspondant à un dosage en liant résiduel compris entre 250 et 350 g/m², suivi du répandage d'un gravillon 4/6 ou 2/4 aussi faiblement dosé que possible (2 à 3 l / m² suffisent).

Pose de la couche de surface définitive

Pour faciliter le "mûrissement" évoqué plus haut, on a intérêt à réaliser la couche de roulement deux à trois semaines plus tard (ou plus). Ce "mûrissement" est fonction des conditions climatiques qui suivent la mise en œuvre du retraitement, du trafic que supportera la couche et de son évolution au tout jeune âge.

Points sensibles

- Sensibilité du revêtement aux sollicitations de trafic particulières (zones de croisements, feux...) et aux zones de piège à eau sur lesquelles le "mûrissement" s'avère trop lent, voire impossible et justifie des dispositions constructives particulières.
- L'obtention d'un bon niveau d'uni nécessite l'utilisation de matériels adaptés et performants, une équipe au fait de la technique et l'adoption de consignes strictes de mise en œuvre.
- En raison des caractéristiques de tenue à l'eau (vues par l'essai Duriez), des dispositions particulières sont à envisager dans les zones climatiques humides pour les trafics moyens à élevés (drainage latéral).

l'uni. Les modalités de compactage découleront du compromis compacité - uni et seront établies lors de la planche de référence. Elles seront fonction de nombreux paramètres : épaisseur et type de retraitement, dureté et dosage du liant d'ajout, montée en cohésion du matériau, conditions climatiques, etc...

Le nombre de compacteurs nécessaires pour réaliser la densification du matériau est déterminé en fonction du débit des matériels de retraitement et du nombre de passes pour atteindre le niveau de compactage recherché (% de vides \leq 20 %). Pour certains compacteurs bien identifiés, un CATM (Certificat d'Aptitude Technique des Matériels Routiers) donne directement les conditions d'emploi pour différents cas de chantier (matériau, épaisseur, qualité recherchée).

Compte tenu des épaisseurs compactées pour un retraitement de classes I, II ou III, on utilise en général des compacteurs vibrants de la classe V2 ou V3. Le compactage est terminé par un ou deux compacteur (s) à pneumatiques de la classe P1 ou P2.

En général, les valeurs moyennes de compacité conduisent à des teneurs en vide comprises entre 13 et 19 %.

Comme tout enrobé à l'émulsion, le matériau retraité évolue, "mûrit" notamment par départ d'une partie de l'eau.



Atelier de retraitement NOVACOL (COLAS) - Tarbes.



Mise sous circulation immédiate après retraitement à l'émulsion.

5 - Contrôles

La qualité d'un chantier de retraitement est largement tributaire des performances des matériels utilisés et son suivi justifie les contrôles qui sont présentés dans ce chapitre. N'y sont développés que les contrôles spécifiques ou particuliers au retraitement proprement dit.

5.1 - Avant travaux

Concernant les matériels, le SOPAQ doit contenir une présentation précise des caractéristiques techniques des matériels (HEPH) et les grandes lignes des modalités d'exécution (organisation du chantier). Les mêmes éléments sont à présenter par l'entreprise qui propose la solution retraitement comme une variante à son offre de base. Quelle que soit la taille du chantier, la réception des matériels est une phase essentielle dans la démarche qualité.

Dans le cas d'un atelier de retraitement avec références, la réception est faite au vu de ces références et de la conformité de l'atelier aux propositions faites dans l'offre (SOPAQ) ou dans la variante. Pour des chantiers de plus de 50000 m² et dans le cadre d'une épreuve de convenance, un contrôle des organes de dosage des ajouts et la vérification des valeurs indiquées par des systèmes de contrôle continu sont justifiés.

Dans le cas d'un atelier de retraitement sans référence constitué pour le chantier, la réception des matériels passe par :

- un examen détaillé des fiches techniques matériel,
- la vérification de leur conformité au SOPAQ de l'offre ou au PAQ de la variante,
- le contrôle des dispositifs de dosage des ajouts, des outils de la fragmentation et des moyens de malaxage.

Les conditions de réception sont celles qui sont précisées dans l'exemple d'épreuve de convenance (cf. annexe 2).

Dans tous les cas, la réception des matériels de compactage est une étape importante. Il convient de vérifier que les matériels proposés sont adaptés et que leurs fonctionnements et réglages sont conformes à leur classification pour réaliser le chantier (NF P 98-736).

5.2 - Pendant les travaux

Les contrôles se conçoivent d'une manière différente suivant la taille du chantier, le type de retraitement et la qualité du retraitement (R1 ou R2).

Le tableau 7 donne des indications sur les contrôles à réaliser.

Pour les chantiers importants (> 50000 m²), une épreuve de convenance s'impose. Son contenu est détaillé en annexe 2.

5.3 - Après les travaux

Uni

Si nécessaire, le contrôle de l'uni longitudinal est réalisé à l'aide de l'API. Il peut s'avérer utile si la couche de roulement est réalisée dans le cadre d'un autre marché.

Rugosimètre géométrique

(selon les spécifications relatives au type de couche de roulement et le type de roue).

Paramètres contrôlés	Nombre d'essais	Méthode de contrôle	Tolérance
GRANULATS correcteurs et/ou complémentaires		PAS DE SPECIFICITE (cf. fascicules 25 et 27 du CCTG).	
LIANT		Pour le liant, un prélèvement conservatoire par porteur est obligatoire	
RETRAITEMENT ⇒ Dosage du liant (par extraction)	Continu 1/lot	Pendant le retraitement, suivi des indications du débitmètre. Pour chaque lot (journée), calcul de la teneur en liant par le rapport consommation/surface retraitée.	± 10 % ± 10 %
⇒ Finesse de mouture Classe I Classes II et III	1/lot 2/lot	Tamissage à 63 mm Tamissage à 40 et 25 mm	99 % de passant à 63 mm 99 % de passant à 40 mm et pas plus de 10 % d'éléments supérieurs à 25 mm
⇒ Propreté interface	Continu	Visuel	cf. PAQ
⇒ Couche d'accrochage	Continu	Visuel	cf. PAQ
⇒ Epaisseur (après compactage)	Continu	Mesure directe par sondage manuel ou avec une pige. Par suivi si l'indication est reportée en cabine.	± 1 cm cf. PAQ
⇒ Matériau retraité W % Teneur en liant	2/lot 2/lot	Essai teneur en eau. Extraction liant. Classes I et III Classe II	Cf. PAQ ± 0,5 % ± 1 % ⁽¹⁾
Granularité Caractérisation du liant	2/lot 1 par 20000 m ²	Analyse granulométrique. Détermination TBA avant et après retraitement.	cf. PAQ 5 ≤ ΔT _{BA} ≤ 15° C
COMPACTAGE ⇒ Compacité	20/points par lot	Procédure habituelle. Mesure de densité → % de vides.	Pourcentage de vides moyen du lot ≤ 20 %.

⁽¹⁾ En classe II, le pourcentage relatif de matériaux blancs par rapport aux matériaux noirs impose d'interpréter cette tolérance avec prudence.

Tableau 7 - Plan de contrôle pour le retraitement.

Annexe 1

Prise en compte du trafic pour le dimensionnement de la structure

Définition du poids lourd

Le poids lourd est défini par la norme NF P 98-082 comme un véhicule dont le poids total en charge est au moins égal à 3,5 tonnes ($P_{TAC} \geq 35$ kN).

Cette définition diffère sensiblement de celle qui était prise en compte avant 1998 où le poids lourd était défini comme un véhicule dont la charge utile est au moins égale à 5 tonnes ($C_U \geq 50$ kN).

Il est admis que, dans les situations courantes, le passage du PL ($C_U \geq 50$ kN) au PL ($P_{TAC} \geq 35$ kN) est obtenu par un coefficient multiplicateur de 1,25.

Nombre PL ($P_{TAC} \geq 35$ kN) = 1,25 x nombre PL ($C_U \geq 50$ kN).

Calcul du nombre cumulé de poids lourds

Le dimensionnement d'une structure nécessite le calcul du nombre cumulé de poids lourds qu'elle devra supporter pendant sa durée de vie.

Pour calculer ce nombre cumulé N exprimé en nombre de poids lourds sur la voie la plus chargée, il est nécessaire de prendre des hypothèses concernant la durée de vie de la chaussée et la croissance du trafic :

$$N = 365.T.C$$

avec T : trafic poids lourds MJA à l'année de mise en service sur la voie la plus chargée

$$C : (\text{facteur de cumul}) = d + \left(\tau.d. \frac{d-1}{2} \right)$$

avec d = durée de vie souhaitée pour la chaussée

τ = taux de croissance linéaire annuel (croissance arithmétique)

(exemple : pour un taux de croissance de 5 %, $\tau = 0,05$)

Cette formule n'est valable que si la croissance du trafic se réduit à un seul taux. Si ce n'est pas le cas on se reportera au chapitre concerné (chapitre 2.3) de la notice d'utilisation du catalogue de structure de chaussées neuves 1998.

Taux de croissance et durée de vie sont des hypothèses normalement fixées par le maître d'ouvrage.

Dans le catalogue de structures de chaussées neuves du réseau national, les hypothèses qui ont été prises sont une durée de vie de 30 ans avec une croissance linéaire (ou arithmétique) de 5 % pour le réseau structurant ; 20 ans et 2 % pour le réseau non structurant.

A défaut de données précises du maître d'ouvrage et compte tenu du domaine d'emploi de la technique, les hypothèses prises pour le réseau national non structurant seront généralement les mieux adaptées pour le dimensionnement des structures retraitées ($\tau = 0,02$ $d = 20$).

Calcul du nombre de sollicitations pour le dimensionnement

Le nombre de poids lourds à considérer pour le dimensionnement est celui qui emprunte la voie la plus chargée de la chaussée. Il est donc nécessaire d'affecter le nombre de poids lourds d'un coefficient qui tient compte de la répartition des poids lourds entre les différentes voies de chaussée (cf. chapitre 2.2 de la notice d'utilisation du catalogue de structure de chaussées neuves 1998).

Dans le cas de chaussées bidirectionnelles par exemple, et pour tenir compte du recouvrement des bandes de roulement, on peut admettre la règle suivante : (cf. guide technique conception et dimensionnement des structures de chaussées)

Chaussée dont la largeur est supérieur à 6 m
⇒ 50 % du trafic total PL des deux sens.

Chaussée dont la largeur est comprise entre 5 et 6 m
⇒ 75 % du trafic total PL des deux sens.

Chaussée dont la largeur est inférieure à 5 m
⇒ 100 % du trafic total PL des deux sens.

Le dimensionnement d'une structure de chaussée se fait en réalité à partir d'un nombre de sollicitations exprimé en nombre d'essieux équivalent N_E (essieu isolé de 130 kN en France). On transforme le nombre de PL en nombre d'essieux équivalents par la relation $N_E = \text{Nombre de PL} \times C_{AM}$.

CAM est un coefficient d'agressivité structurelle moyen qui dépend du type de voie (spectre des PL) et de la structure (cf. chapitre 4.3 des hypothèses et données de calcul du catalogue de structure de chaussées neuves 1998).

N.B.

Les différentes classes de trafic exprimé en MJA pour la définition de la couche de roulement sont bornées par le même nombre de PL malgré le changement de définition du PL car les CAM, revus à la baisse, en tiennent compte.

Tableau de correspondance

Le changement de définition du poids lourd dans la norme NF P 98-082 et les entrées exprimées en trafic cumulé du catalogue de structure 1998 ne simplifient pas la manière d'appréhender le trafic.

Pour aider le maître d'œuvre ou le concepteur à situer son projet de retraitement en place par rapport aux différents référentiels techniques, nous avons établi un tableau de correspondance entre le trafic PL exprimé en MJA au moment de la mise en service et le trafic cumulé nécessaire au dimensionnement en prenant comme hypothèse un taux de croissance de 2 % ($t = 0,02$) et une durée de vie de 20 ans ($d = 20$).

Classe de trafic	T5	T4	T3 ⁻	T3 ⁺	Supérieur à T3 ⁺
Nombre de poids lourds par jour et par sens au moment de la mise en service	0	25	50	85	150
Nombre cumulé de poids lourds ($t = 0,02$ $d = 20$)	0	$0,22 \cdot 10^6$	$0,43 \cdot 10^6$	$0,74 \cdot 10^6$	$1,3 \cdot 10^6$

Trafics forts et moyens justifiant une appréhension précise du trafic pour une étude de dimensionnement.

Annexe 2

Contenu d'une épreuve de convenance

Pour les chantiers de plus de 50 000 m²

L'épreuve de convenance est réalisée par l'entreprise et validée par le contrôle extérieur. Pratiquement, elle se réalise dans les conditions normales de travail prévues pour le chantier et doit correspondre au moins à une demi-journée de travail.

Réception des matériels

Il s'agit de tous les matériels des ateliers de retraitement et de mise en œuvre.

- Conformité des matériels par rapport au CCTP et SOPAQ et/ou avis techniques et/ou fiches techniques des constructeurs et/ou certificats d'aptitude technique et/ou PAQ.
- Pour les matériels de retraitement : état des outils, fonctionnement des systèmes de dosage et de

contrôle des ajouts liquides...

- Pour les compacteurs : vérification des caractéristiques de fonctionnement (vibration, amplitude, fréquence, charge par roue...) pour confirmer leur classe.

NB

L'épreuve de convenance peut être considérée comme un lot de production et faire l'objet des contrôles tels que définis dans le tableau 7 de ce livret.

Modalités d'exécution du retraitement

Paramètre contrôlé	Essai	Critère d'essai	Critère d'acceptation
Fragmentation	Tamissage 25/40/63 mm	Au moins 5 prélèvements.	Classe I 99 % passant à 63 mm. Classes II et III 99 % passant à 40 mm et pas plus de 10 % de refus à 25 mm.
Humidification Ajout de liant	Vérification des débits et asservissements. Contrôle visuel de la distribution.	Contrôles dans les conditions de fonctionnement du chantier.	± 10 % par rapport au débit théorique.
Epaisseur	Vérification par sondage manuel avant et après compactage.	Au moins 10 contrôles.	± 1 cm après compactage.
Qualité de l'interface Couche d'accrochage	Vérification de l'application des modalités d'exécution prévues au SOPAQ et/ou dans le PAQ.	Contrôle visuel.	Respect du dosage (visuellement ou par essai d'épandage)
Matériau retraité	Teneur en eau Teneur en liant (par extraction) Granularité Caractéristiques du liant	2 essais 2 essais 2 essais 1 essai	Classe I ± 1 % ; classes II et III ± 0,7 %. Classes I et III ± 0,5 % ; classe II ± 1 %. cf. PAQ. 5 ≤ Δ T _{BA} ≤ 15°C.

Modalités d'exécution de la mise en œuvre (réglage, compactage)

L'épreuve de convenance concernant la mise en œuvre est la même que pour un chantier classique (cf. fascicules 25 et 27 du CCTG).

L'épreuve de convenance doit conduire en particulier à la validation des modalités de compactage (nombre d'engins, nombre de passes, plan de balayage...) et définir l'objectif de compacité (pourcentage de vides moyen) qu'il conviendra d'atteindre sur le chantier.



Ce livret a été rédigé, sous la coordination de
JC. Valeux par :

MM. J. Abdo - JP. Benaben - D. Bourdrel -
A. Destombes - P. Exbrayat - M. Lefort - H. Odeon -
S. Soliman - D. Vincent - R. Kobisch.





Livret II - Liants hydrauliques

Sommaire

1 - Principe de la technique objectifs et domaines d'emploi	50
1.1 - Principe - définition	50
1.2 - Objectifs	50
1.3 - Domaines d'emploi	50
1.4 - Avantages et limites de la technique	51
2 - Les études	54
2.1 - Diagnostic de la chaussée existante	54
2.2 - Caractérisation des matériaux en place	54
2.3 - Faisabilité de la technique	54
2.4 - Étude de formulation	55
2.5 - Dimensionnement	56
3.1 - Fonction fragmentation	60
3 - Les matériels	60
3.2 - Fonction apport de liant	60
3.3 - Fonction malaxage	61
3.4 - Fonction apport d'eau	61
3.5 - Critères de performances des matériels de retraitement	62
3.6 - Compactage des matériaux retraités par un liant hydraulique	64
3.7 - Matériels et niveaux de qualité du retraitement	64
3.8 - Rendement de l'atelier de retraitement	65
4 - Modalités d'exécution	66
4.1 - Fabrication des matériaux retraités	66
4.2 - Mise en œuvre des matériaux retraités	67
4.3 - Cas des élargissements de chaussée	67
5.1 - Avant les travaux	68
5 - Contrôles	68
5.2 - Pendant les travaux	68
5.3 - Après les travaux	68
Annexe 1 - Essai Proctor	70
Dispositions complémentaires aux normes	70
Annexe 2 - Prise en compte du trafic pour le dimensionnement de la structure	71
Définition du poids lourd	71
Calcul du nombre cumulé de poids lourds	71
Calcul du nombre de sollicitations pour le dimensionnement	71
Tableau de correspondance	72
Annexe 3 - Contenu d'une épreuve de convenue	73

1 - Principe de la technique objectifs et domaines d'emploi

1.1 - Principe - définition

Le retraitement des chaussées en place aux liants hydrauliques correspond à la technique de classe IV (cf chapitre 3 de la présentation du guide). Il est généralement réalisé en épaisseurs de 20 à 30 cm.

Le retraitement de chaussée par un liant hydraulique consiste à incorporer, au sein du matériau obtenu par fragmentation de l'ancienne chaussée, un liant hydraulique, de l'eau et éventuellement un matériau correcteur et/ou complémentaire et de les mélanger intimement, en place, jusqu'à l'obtention d'un matériau homogène. Le mélange, après le phénomène de prise, acquiert des performances mécaniques conformes à l'usage auquel il est destiné.

Pour la rédaction des pièces techniques (DCF, BPU, DE) des marchés travaux, le maître d'œuvre peut se référer au document (CIMBETON). Pour les pièces administratives (RC, CCAP), on se référera au fascicule 25 du CCTG.

L'exécution des travaux de retraitement en place aux liants hydrauliques intègre différentes opérations faisant appel à une ou plusieurs machines. L'énumération suivante correspond à un ordre chronologique ou à une réalisation obligatoire :

- reprofilage de la chaussée à retraiter,
- ajout de matériaux pour correction granulaire,
- ajout de matériaux pour apport complémentaire,
- apport de liants hydrauliques sous forme pulvérulente ou sous forme de suspension (eau + liant hydraulique),
- fragmentation de l'ancienne chaussée,
- malaxage des matériaux et du liant avec apport d'eau.

Pour toutes ces techniques les conditions de réalisation sont très importantes et conduisent à des qualités différentes. Il est important que le maître d'œuvre dans son dossier d'appel d'offre impose des caractéristiques de matériel en fonction de la qualité du retraitement qu'il veut obtenir.

Après les travaux de retraitement, les opérations qui suivent ne sont pas spécifiques au retraitement en place et font appel à des méthodes et matériels classiques pour le réglage et le compactage de la couche retraitée, la réalisation de l'enduit de cure et de la couche de roulement

Comme pour les chaussées à assises traitées avec un liant hydraulique et bien que la fissuration de retrait

soit moins systématiquement visible, on peut prévoir la technique de pré-fissuration de l'assise (avant son compactage) ou la réalisation de technique de surface permettant de retarder ou de lutter contre la remontée des fissures de retrait.

Remarque

Comme dans le cas des renforcements sous circulation avec des matériaux traités aux liants hydrauliques, une circulation lourde immédiatement après la mise en œuvre n'est envisageable que si le mélange offre une stabilité immédiate suffisante par les contacts granulaires pour ne pas détruire les liaisons hydrauliques.

1.2 - Objectifs

L'objectif du retraitement est de rectifier, à partir de la chaussée dégradée, une structure homogène capable de par ses nouvelles caractéristiques mécaniques de supporter un trafic donné, pour la durée de service retenue par le maître d'ouvrage.

On réalise ainsi une nouvelle assise de chaussée sur laquelle on applique, soit une couche de roulement seule (fig. 1), soit une couche de base et une couche de roulement si la partie retraitée ne peut à elle seule supporter les sollicitations induites par le trafic (fig. 2).

1.3 - Domaines d'emploi

La technique du retraitement de chaussée par un liant hydraulique est utilisée pour la réhabilitation des chaussées anciennes présentant un déficit structurel.

Toutes les structures routières (route nationale, aéroportuaire, départementale, voiries rurales et communales, autoroute, zone portuaire...) peuvent être concernées par la technique du retraitement en place.

Cette technique est applicable, en rase campagne et en traversée d'agglomération, dans les cas de réhabilitation suivants :

- corps de chaussée,
- corps de chaussée associé à un élargissement de l'assise (fig. 3),
- reprise des rives (fig. 4).

Urbain

Rural

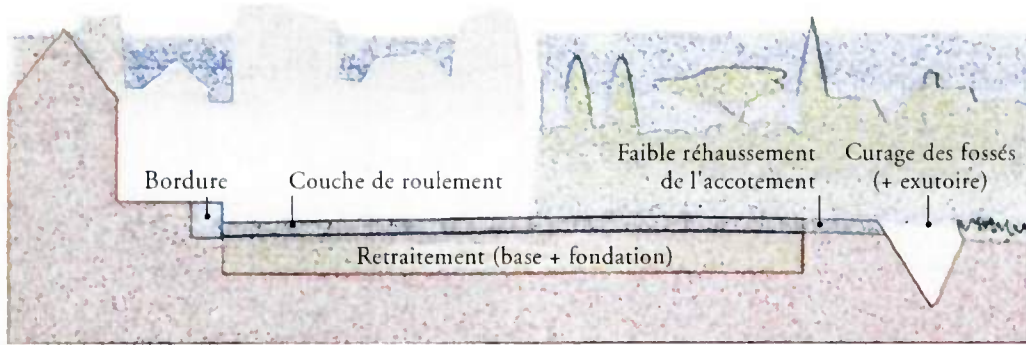


Figure 1 : Exemple de retraitement avec apport unique d'une couche de roulement.



Figure 2 : Exemple de retraitement avec apport d'une couche de base et d'une couche de roulement.

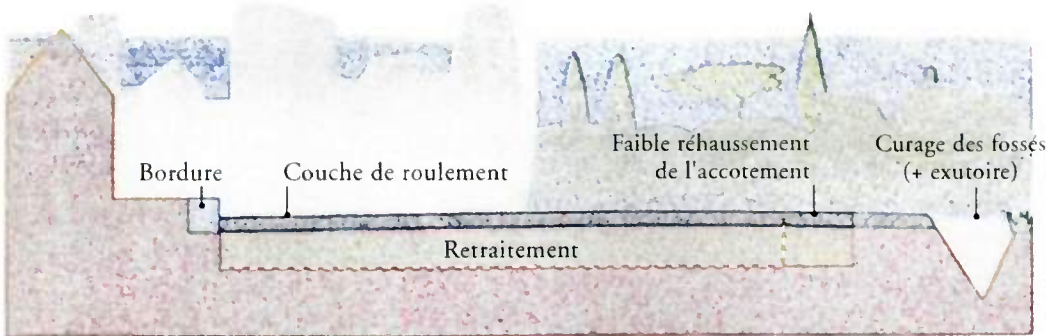


Figure 3 : Exemple de retraitement avec élargissement.

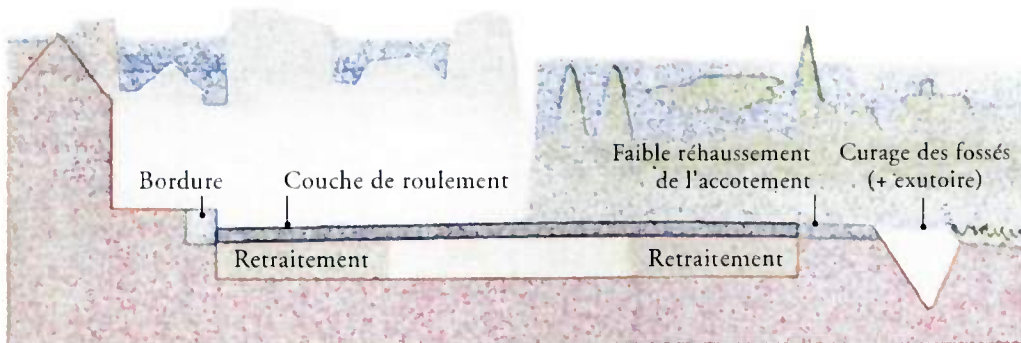


Figure 4 : Exemple de retraitement des rives.

1.4 - Avantages et limites de la technique

Le retraitement en place aux liants hydrauliques est une technique connue depuis les années 1950. Elle présente de nombreux avantages environnementaux, techniques et économiques mais aussi quelques limites.

Avantages environnementaux

La technique :

- Permet la réutilisation des matériaux en place.
- Limite l'exploitation des gisements de granulats et donc contribue à préserver l'environnement.
- Evite la mise en décharge des matériaux.
- Diminue la gêne à l'usager et aux riverains.

Avantages techniques

Le retraitement en place aux liants hydrauliques permet de réaliser une couche traitée homogène et stable, présentant les caractéristiques suivantes :

- une **rigidité** qui assure une bonne répartition des charges sur le support de la chaussée,
- une **tenue à la fatigue** qui permet à la chaussée retraitée de résister à la répétition des charges, donc à un trafic cumulé important,
- un **bon comportement** par temps chaud sans déformation, niorniérage,
- un **bon comportement aux cycles de gel/dégel** grâce à la résistance du matériau et une conductibilité thermique faible.



Chaussée avant retraitement.

Avantages économiques

- Une **technique à l'échelle locale** : les liants hydrauliques sont disponibles localement et la plupart des entreprises routières disposent de matériels adaptés à ce type de travaux.
- **Economie de transport de matériaux** : c'est une technique qui valorise les matériaux du site. Elle réduit l'apport de granulats (coût de fabrication et de transport). Elle évite le rehaussement des abords (accotements et trottoirs).
- **Préservation du réseau routier** situé au voisinage du chantier : réduction du tonnage de granulats transporté.
- **Maintien de l'altimétrie** des chaussées et de la hauteur libre sous les ouvrages.

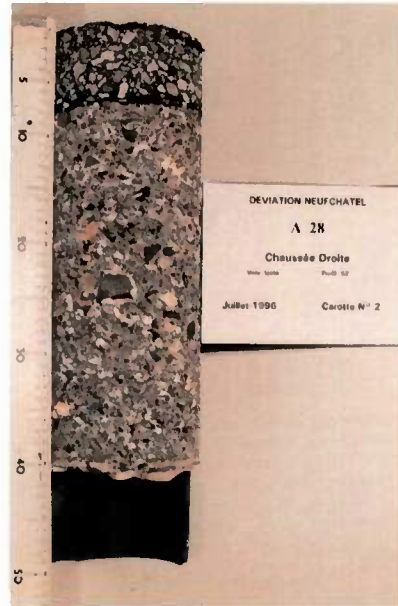


Retraitement au liant hydraulique en agglomération (76).

Limites de la technique

Les limites de la technique de retraitement, si les matériaux suivants ne sont pas éliminés par purge, sont :

- la présence de pavés ou de structures de béton ou de matériaux trop gros, constituent des obstacles pour le passage des machines de retraitement. Les technologies actuelles permettent le retraitement de matériaux dont la dimension du plus gros élément est inférieure à 80 mm (100 % de passant au tamis de 80 mm),
- la présence de produits qui pourraient perturber la prise des liants hydrauliques ou qui génèreraient des gonflements (les nitrates, les sulfures, les sulfates...).



Carotte prélevée sur une chaussée retraitée au liant hydraulique.



Exemple de retraitement d'une ancienne chaussée semi-rigide sur 35 cm d'épaisseur.



Retraitement en zone industrielle - Pas de réhaussement des abords.

2 - Les études

Avant de réaliser un retraitement en place, il est impératif d'effectuer une étude préalable de la chaussée.

Dans le cas d'un trafic $\leq T3$, elle comprend au moins :

- une étude de diagnostic d'état de la chaussée existante,
- la caractérisation des matériaux en place,
- la faisabilité de la technique,
- un dimensionnement s'il est demandé.

Dans le cas d'un trafic $> T3$, il faut y ajouter :

- une étude de formulation en vue de déterminer les caractéristiques mécaniques du matériau élaboré,
- un dimensionnement nécessaire.

2.1 - Diagnostic de la chaussée existante

Cette première phase qui n'est pas spécifique au retraitement en place, vise à déterminer l'homogénéité des zones à traiter et les causes probables des dégradations constatées, facteurs à intégrer dans la définition du projet.

Ce diagnostic d'état est établi à partir :

- des données existantes (BDR),
- de relevés visuels,
- de mesures de déflexions,
- de sondages.

Les sondages sont indispensables pour confirmer la faisabilité de la technique et résoudre le problème structurel posé par la réhabilitation de la chaussée tel qu'il s'est révélé lors de l'étude de diagnostic préalable.

Les sondages sont réalisés préférentiellement sous forme de tranchées allant de la rive vers l'axe de la demi chaussée. Le nombre minimum de sondages recommandé est de 1 par 500 mètres de chaussée à traiter, davantage (par exemple 1 par 200 m), si la structure est hétérogène. Les sondages, réalisés à la pelle mécanique ou à l'aide d'une fraiseuse, (pour les matériaux liés), permettent :

- de visualiser la nature et l'épaisseur des différentes couches de matériaux rencontrés et d'identifier le sol support,

- de prélever des matériaux par couche ou globalement en vue d'analyse. Le prélèvement après fraisage permet de mieux apprécier la granularité du matériau au sortir de la machine de retraitement.

- de noter d'éventuelles arrivées d'eau dans les fouilles,
- simultanément de réaliser des mesures de densité en place qui seront utiles pour la détermination du poids de liant à incorporer.

Remarque

Une auscultation en continu à l'aide d'un matériel radar permet de réduire le nombre de sondages, de vérifier l'homogénéité des matériaux et de détecter des réseaux enterrés non répertoriés au préalable.

2.2 - Caractérisation des matériaux en place

Les matériaux prélevés destinés à être retraités sont identifiés par des essais de laboratoire portant sur les caractéristiques suivantes :

- teneur en eau,
- granulométrie avec détermination de la dimension maximale (D),
- propreté par l'essai de Valeur au Bleu de Méthylène (VBS) selon la norme (NF P 94-068).

Toute autre caractéristique, (% de matières organiques, sulfates, sulfures, nitrates,...) peut être déterminée en fonction des matériaux rencontrés et, en cas d'incertitude sur la compatibilité granulats/liant, un test peut être réalisé suivant la norme NF P 94-100.

2.3 - Faisabilité de la technique

La faisabilité du retraitement en place est établie à partir des critères suivants :

Une granularité dont le D est au maximum égal à 63 mm sans éléments supérieurs à 80 mm.

- dans le cas de granulats de $D \geq 31,5$ mm on utilise la norme NF P 98-129.
- dans le cas de granulats de $D \leq 20$ mm on utilise la norme NF P 98-116.

- une valeur au bleu V_{BS} (NF P 94-068) $\leq 0,8$ g, (étude de formulation si $V_{BS} > 0,8$ g).
- une épaisseur de matériaux retraitables au moins égale à celle qui sera définie par l'étude de dimensionnement. Si ce n'est pas le cas, un ajout de matériau complémentaire est envisageable. Cet apport doit être compatible avec le matériau à retraiter voire permettre de le corriger.

2.4 - Étude de formulation

Les précautions à prendre pour l'établissement de la formulation concernent la **représentativité des matériaux** utilisés pour l'étude. Cela justifie que le chantier soit éventuellement découpé en zones homogènes en nature et en épaisseur des matériaux à recycler et qu'un prélèvement soit effectué sur chacune d'elles.

L'étude de formulation est systématiquement effectuée dans le cas des trafics supérieurs à T3.

Elle comprend :

- l'étude granulométrique pour définir la composition du mélange,
- l'étude en vue d'apprécier les performances mécaniques du mélange.

Remarque

Dans le cas d'utilisation de liants hydrauliques routiers, il est impossible de garantir l'équivalence pour ce type de liant. Compte tenu de leur cinétique de prise très différente d'un liant à l'autre et très variable selon la nature minérale de la grave, il est préférable de se référer à la fiche technique produit ou aux résultats obtenus avec le même liant pour des études antérieures.

Étude granulométrique

La granularité du matériau derrière la machine de retraitement ne peut qu'être appréciée au vu des expériences antérieures sauf si les prélèvements sont réalisés au moyen d'une fraiseuse travaillant dans les mêmes conditions que la machine de retraitement.

Performances mécaniques et comportement en fatigue

L'étude en laboratoire permet de mesurer mais plus généralement d'évaluer la résistance mécanique à 360 jours selon les normes en vigueur (NF P 98-116). Pour des mélanges allant jusqu'à 20 % de matériaux bitumineux, on pourra réaliser des essais brésiliens en adoptant la règle $R_t = 0,8 R_{db}$. Au delà de 20% on pourra réaliser des essais de traction directe.

Si le D du matériau est supérieur à 31,5 mm, les performances mécaniques peuvent être déterminées selon la procédure précisée en annexe 1.



Essai brésilien sur éprouvette.

L'étude doit être menée à un niveau de compactage compatible avec l'objectif visé sur chantier, soit q_1 ou q_2 .

Le comportement en fatigue est estimé à partir des résultats obtenus en traction directe par le biais des coefficients indiqués dans le tableau 1 (valeurs indicatives dans l'état actuel de nos connaissances).

Les valeurs, données dans ce tableau, sont issues d'études en fatigue sur des matériaux retraités au ciment (3,5 %) et comprenant 15 % de matériaux bitumineux.

R_t/R_f	s_6/R_f	s_6/R_t	-1/b
1,88	0,54	1	13

R_f résistance en flexion.

R_t résistance en traction directe.

σ_6 contrainte de rupture par traction en flexion sur éprouvette de 360 jours et pour 10^6 cycles.

-1/ β pente de la droite de fatigue (représentation semi logarithmique).

Tableau 1 : Relation entre R_f , R_t et σ_6 .

S'il n'est pas possible, pour des raisons de délai, de mesurer les performances à 360 jours, le tableau 2 propose des valeurs indicatives de coefficients de correspondance pour des matériaux retraités au ciment normalisé (28 jours) et avec des liants hydrauliques routiers (60 jours).

Liant	Age	Rt/Rt360	E/E360
Ciment	28 jours	0,60	0,65
Liants hydrauliques routiers	60 jours	0,70	0,80

Tableau 2 : Valeurs indicatives des coefficients de correspondance pour l'estimation des performances mécaniques à 360 j.

Dans tous les cas, il est souhaitable de mesurer les performances à 360 jours pour valider les hypothèses de départ.

Pour appliquer la méthode de dimensionnement du § 2.5 on visera une valeur minimale de $R_t \geq 0,5$ MPa.

Les valeurs de σ_0 et de module E utilisées dans le calcul de dimensionnement seront déduites des valeurs moyennes à 360 jours obtenues sur la formule de base qui sera la référence pour le chantier, en minorant les résultats de laboratoire de :

- 30 % pour la résistance en traction $R_{t,360}$
- 10 % pour le module E_{360} .

Ceci conduit aux relations :

$$\sigma_0 = 0,7 \cdot (\sigma_0 / R_t) \cdot R_{t,360}$$

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

Ces abattements sont identiques à ceux prévus dans le guide de dimensionnement des chaussées pour les graves traitées aux liants hydrauliques.

2.5 - Dimensionnement

Le présent paragraphe définit le processus à suivre pour réaliser une étude de dimensionnement qui doit être systématique pour les trafics supérieurs à T3.

Dans le cas où l'étude de dimensionnement n'est pas effectuée (trafic inférieur ou égal à T3), il est souhaitable de justifier la structure du projet selon la méthode développée dans le chapitre "justification de la structure". (chapitre 2.5.5)

2.5.1 - Choix de la couche de roulement

L'épaisseur de la couche de roulement sur couche de base en matériau retraité pourra être ajustée en fonction des expériences locales et la qualité du retraitement R1 ou R2 telle qu'elle est définie dans

les chapitres 3.7 du présent livret et 5.2 de la présentation du guide. Il est cependant souhaitable de retenir les valeurs minimales indiquées dans le tableau 3.

Classe de trafic	Couche de roulement
T4 et T5	Enduit superficiel ou ECF
T3 et T2	6 cm de béton bitumineux
T1	8 cm de béton bitumineux (2 couches)

Tableau 3 : Choix de la couche de roulement.

Remarque

Le choix de la couche de roulement dépend de la classe de trafic et des objectifs en terme de niveau de service fixés par le maître d'ouvrage. Celui-ci peut se référer :

- aux indications développées dans le guide technique conception et dimensionnement des structures de chaussées,
- aux propositions de couche de roulement faites dans le catalogue de structures types de chaussées neuves 1998.

2.5.2 - Sol support

La portance du sol support est soit :

- mesurée (module EV2), s'il y a fraisage préalable de la chaussée,
- estimée par modélisation à partir des mesures de déflexion réalisées sur l'ancienne chaussée (lorsque celle-ci est de type souple),

2.5.3 - Partie conservée de l'ancienne structure

La partie restante de l'ancienne chaussée, non concernée par le retraitement, doit être considérée dans la modélisation de la nouvelle structure.

Elle est introduite dans le logiciel de calcul par son épaisseur et son module. Cela n'est réaliste que si son épaisseur est supérieure à 5 cm. Dans le cas contraire, on lui affecte le module du sol support.

S'il s'agit de matériaux traités, les modules sont évalués à partir des valeurs mesurées sur des carottes et à partir de la modélisation de la structure de la chaussée (déflexion et épaisseur de la chaussée).

S'il s'agit de matériaux non traités, on prendra une valeur de module de 4 fois la valeur du module du sol support, avec une valeur maximale de 320 MPa.

2.5.4 - Dimensionnement de la structure

a) Trafic

Pour la manière d'appréhender le trafic, on se reportera à l'annexe 2 du présent document.

Dans le cas où l'agressivité réelle du trafic lourd n'est pas connue, on prendra les valeurs de Coefficient d'Aggressivité Moyen (C_{AM}) indiquées dans le tableau 4. Ces valeurs sont applicables au niveau de la plate-forme et du matériau retraité.

b) Calcul des contraintes admissibles

Pour le calcul des contraintes admissibles, on applique le guide technique "Conception et dimensionnement des structures de chaussée" avec en particulier les valeurs suivantes pour les différents coefficients.

• Coefficient de calage

Si le support de la couche retraitée est une partie de l'ancienne chaussée ou de l'ancienne couche de forme, ce qui constitue un support particulièrement consolidé, on peut prendre un coefficient de calage de 1,6. Dans le cas contraire, la valeur 1,5 est à retenir.

• Risque

Le maître d'ouvrage pourra, si nécessaire, adapter le risque à admettre pour la période de calcul en fonction de l'enjeu technico-économique du projet.

A titre d'illustration on pourra prendre les valeurs du tableau 5.

Classe de trafic (MJA)	T5	T4	T3	T3	> T2
C_{AM}	0,4	0,5	0,7	0,8	1

Tableau 4 : Valeur des C_{AM} .

• Autres données (S_N ; S_h ; $-1/b$)

Ces données dépendent de la qualité des matériels utilisés (définie dans le chapitre 3.7) et de celle des matériaux disponibles. En l'absence de valeurs d'étude ou d'expérience antérieures, on pourra utiliser les valeurs du tableau 6. La qualité du matériau à retraiter est appréciée de la manière suivante :

- M1, matériau dont la courbe granulométrique est située à l'intérieur du fuseau de la norme NF P 98-129 et avec $V_{BS} < 0,8$.
- M2, courbe hors fuseau ou $V_{BS} \geq 0,8$

c) Modélisation de la structure

La modélisation de la structure est réalisée avec le logiciel ALIZE en introduisant :

- les caractéristiques de la plate-forme (chapitre 2.5.2),
- les caractéristiques de la partie de l'ancienne chaussée conservée (chapitre 2.5.3),
- les caractéristiques mécaniques du matériau obtenu par retraitement en place en fonction des résultats de l'étude de formulation (chapitre 2.4).

Trafic	$\leq T3$	T2	T1	T0
Risque r	12,5	7,5	5	2,5

Tableau 5 : Valeurs indicatives pour la valeur r qui permet de calculer le coefficient de risque kr.

Cas de chantier Caractéristiques du matériau obtenu	Qualité de retraitement R1		Qualité de retraitement R2	
	Matériau M1	Matériau M2	Matériau M1	Matériau M2
Pente de la courbe de fatigue $-1/b$	16	16	16	16
Dispersion sur les résultats en fatigue S_N	1	1,5	1,5	1,5
Dispersion sur l'épaisseur S_h	3 ⁽²⁾	3 ⁽²⁾	5	5

⁽¹⁾ Ce pourcentage peut correspondre au retraitement sur 30 cm d'une ancienne chaussée comprenant 3 à 5 cm d'enduits ou d'enrobés en couches de surface.

⁽²⁾ Cette valeur n'est utilisable que s'il y a reprofilage avant le retraitement. Dans le cas contraire prendre $S_h = 4$.

Tableau 6 : Valeurs indicatives des paramètres de dimensionnement pour des matériaux comprenant entre 10 et 20 % de matériaux bitumineux⁽¹⁾.

2.5.5 - Justification de la structure

Uniquement applicable si $VBS < 0,8$.

Ce chapitre ne concerne que les chaussées à faible trafic (trafic $\leq T3$) et lorsque l'étude de formulation n'a pas été réalisée.

La justification du projet vis-à-vis des référentiels techniques peut cependant être envisagée avec une estimation des performances attendues avec le nouveau matériau d'assise. Pour cela, au terme de l'analyse du projet, on pourra retenir les valeurs fixées dans le tableau 7.

Les valeurs indicatives données dans ce tableau sont des paramètres d'entrée pour le programme ALIZE avec les hypothèses suivantes :

- retraitement avec 4 % de liant hydraulique routier ou de ciment,
- deux qualités de retraitement R1 ou R2 (cf. chapitre 3.7 ci-après),
- deux qualités de matériaux M1 ou M2 comme défini dans le chapitre précédent (2.5.4),
- une énergie de compactage q_2 .

2.5.6 - Tenue au gel/dégel

Si une vérification au gel/dégel de la nouvelle structure est demandée par le maître d'ouvrage, elle se fait selon la méthode décrite dans le Guide technique Conception et dimensionnement des structures de chaussées LCPC/Setra de Décembre 1994.

L'appréciation du comportement au gel/dégel repose sur la détermination de l'indice de gel admissible de la chaussée et s'effectue en quatre étapes :

- a) appréciation de la sensibilité au gel des sols,
- b) détermination de la protection thermique apportée par les matériaux non gélifs des couches de chaussée et éventuellement de la partie de la couche de forme restante,
- c) détermination de l'indice de gel admissible de la chaussée,
- d) comparaison avec l'indice de gel de référence.

Cette vérification n'est pas nécessaire si l'ancienne chaussée assurait une protection au gel suffisante et si les objectifs n'ont pas été changés (même si le sol support est gélif et y compris si le climat est rigoureux).

La vérification au gel est par contre nécessaire si le gel est la cause des dégradations amenant l'étude de réhabilitation de la chaussée.

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

Tableau 7 : Valeurs indicatives des paramètres de calcul de dimensionnement.

A partir de ces valeurs, des coefficients ou données qui ont été définis plus haut et en considérant qu'il ne reste rien de l'ancienne structure de chaussée, des fiches de structure avec assise retraitée en place permettent de situer le projet sans passer par le logiciel de calcul.

Ces fiches (page 59) sont établies en considérant que le retraitement en place constitue une nouvelle couche de base avec une couverture de 6 cm de béton bitumineux en trafic T3 et 4 cm en T4 ou T5.













Remarques :

Pour les trafics T4/T5 on peut remplacer 4 cm de béton bitumineux par un enduit superficiel ou un enrobé coulé à froid. Il faut augmenter l'épaisseur d'assise de 2 cm pour obtenir une équivalence structurelle.

Dans le cas d'un retraitement de qualité R2 avec des matériaux M2, l'assise retraitée ne peut être considérée que comme une couche de fondation : ce qui exclut ce retraitement des tableaux de dimensionnement.













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 31
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

3 - Les matériels

Le choix de matériels adaptés au cas de chantier à réaliser est très important pour la réussite de l'ouvrage.

Les progrès technologiques des constructeurs de matériels, les spécifications techniques de l'administration et le savoir faire des entreprises ont permis de mettre au point des matériels de retraitement performants et bien adaptés au travail à réaliser.

Afin d'aider au bon choix du matériel, le maître d'œuvre et l'entreprise disposent :

- de **normes** établissant la terminologie et les principales spécifications techniques,
- d'**avis techniques** et de **certificats d'aptitude technique** (pour certains matériels) donnant l'aptitude et le niveau de performances,
- de **codification** des principales caractéristiques techniques influençant la qualité du retraitement.

3.1 - Fonction fragmentation

La vitesse linéaire des outils, leur forme, leur nombre, leur disposition sur le tambour de fraisage, leur usure, interviennent dans la fragmentation des matériaux.



Rotor de fraisage équipé d'outils pics en carbure.

Suivant la dureté des matériaux rencontrés, il est nécessaire de changer plus ou moins fréquemment les outils du rotor de fraisage : la régularité de l'épaisseur de retraitement et la qualité de la fragmentation en dépendent.

Pour atteindre les objectifs de granularité du matériau fragmenté (valeur de D), certains matériels disposent d'une grille d'écrêtage ou crible qui permet d'éliminer les éléments $>$ à D .

3.2 - Fonction apport de liant

La fonction apport de liant peut être réalisée de 3 manières différentes :

- par apport de liant pulvérulent à la surface de la chaussée à l'aide d'un épandeur devant la machine de fragmentation,
- par apport de liant pulvérulent à l'aide d'une trémie installée sur la machine multifonction immédiatement devant le rotor de fragmentation,
- par introduction du liant sous forme de suspension (eau + liant hydraulique) préparée dans un mélangeur mobile et injectée directement par une rampe soit dans la chambre du rotor de fragmentation soit dans la chambre de malaxage de la machine multifonction. Dans ce cas, la quantité d'eau est contrôlée par un débitmètre, le liant hydraulique par contrôle pondéral et la suspension par une pompe volumétrique.



Épandage de liant pulvérulent RN 71.

Quelle que soit la méthode, la protection de l'environnement aux poussières de liant doit être assurée par des dispositifs appropriés sur le matériel ou sur le liant (par exemple : liant à émission de poussières réduite...).

3.3 - Fonction malaxage

La fonction malaxage peut être réalisée verticalement dans le sens de l'épaisseur de la chaussée (rotor de fraisage).

Elle peut être réalisée suivant le sens vertical et le sens transversal de la chaussée dans le cas où un malaxeur du type centrale de fabrication de grave traitée est associé au rotor de fraisage (machine multifonction).

3.4 - Fonction apport d'eau

Si une humidification des matériaux à retraiter est nécessaire :

- l'apport d'eau totale ou complémentaire au mélange (matériau + liant hydraulique) par une arroseuse devant la machine de fragmentation ou de malaxage est interdit car il est générateur d'hétérogénéités (mauvaise homogénéité du mélange, ruissellements, mauvaise maîtrise du dosage en eau...).
- l'introduction d'eau se fait directement par une rampe de pulvérisation située au dessus du rotor de fraisage de la machine de fragmentation ou dans le malaxeur associé dans le cas de la machine multifonction.

- le débit d'eau est assuré par une pompe volumétrique asservie à la vitesse de translation de la machine.

- sur les machines de fragmentation, il est nécessaire de disposer d'une rampe à largeur de pulvérisation variable et à contrôle de fonctionnement des jets afin d'éviter les surdosages ou les sous-dosages en eau lorsque le profil transversal hydrique du matériau est hétérogène ou en cas de recouvrement de bandes de retraitement.



Malaxage vertical suivant l'épaisseur de la chaussée (CARTERPILEAR SM 350).



Malaxeur associé à un rotor de fraisage - ARC 700 (APPJA).

3.5 - Critères de performances des matériels de retraitement

La définition ou l'acceptation des matériels spécifiques à un chantier de retraitement par un liant hydraulique peut être réalisée en fonction de 3 critères pour les épandeurs de liant pulvérulent ou de 5 critères pour les machines de fragmentation et de malaxage.

Ces critères sont notés de 3 (valeur optimale) à 1 (valeur minimale) et regroupés sous le coefficient LTV pour les épandeurs et HEPII pour les matériels de fragmentation et de malaxage.

Épandeurs de liant pulvérulent

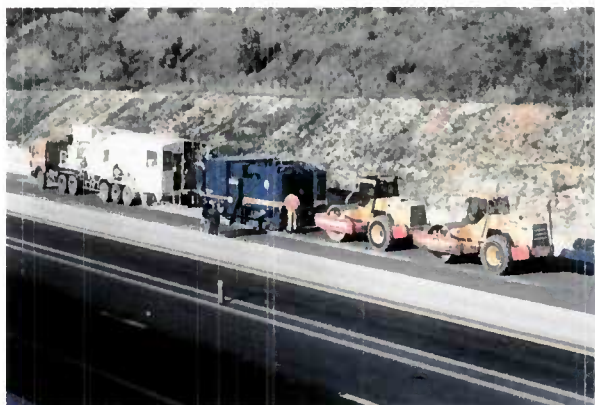
- **L** : qualité d'homogénéité Longitudinale sur la longueur d'épandage du dosage surfacique moyen (CVL exprimé en %).
- **T** : qualité d'homogénéité Transversale sur la largeur d'épandage du dosage surfacique moyen (CVT exprimé en %).
- **V** : possibilité de faire Varier la largeur d'épandage de liant..

Le tableau 8 donne les conditions suivant lesquelles sont notés les différents critères.



Remarques

La norme NF P 98-115 pour l'exécution des corps de chaussées précise que les matériels ayant un Coefficient de Variation supérieur à 10 % ne sont pas autorisés. Un Coefficient de Variation de 10 % conduit à prévoir une augmentation du dosage en liant d'environ 1 % en valeur absolue.



Atelier de retraitement ARC 700 (APPIA) - A28 Neufchâtel en Bray.



Atelier de retraitement ARC 700 (APPIA) - St. Gatien des Bois (14).

Critères		NOTE		
		3	2	1
L	Homogénéité longitudinale d'épandage du liant (en %)	CVL ≤ 5	5 < CVL ≤ 10	CVL > 10
T	Homogénéité transversale d'épandage du liant (en %)	CVT ≤ 10	10 < CVT ≤ 20	CVT > 20
V	Possibilité de faire varier la largeur d'épandage	OUI	NON	NON

Tableau 8 : Critères de qualification des épandeurs.



Atelier de retraitement
2200 CR (WIRTGEN) et
mélangeur WM 400.

Remarques

La norme NF P 98-115 pour l'exécution des corps de chaussées précise que les matériels doivent être à rotor horizontal et équipés d'un indicateur de profondeur. Les systèmes de dosage des liquides doivent assurer une précision minimale de 2%. Un Coefficient de Variation supérieur à 5 % sur l'épaisseur (critère E) est équivalent, au niveau structurel, à un manque d'épaisseur d'environ 10 % (en relatif).

Matériels de fragmentation et de malaxage

- H : qualité d'Homogénéisation du matériau avec le ou les liants suivant que le matériel dispose ou ne dispose pas d'un malaxeur associé au rotor de fragmentation.
- E : maîtrise de l'Épaisseur de retraitement de la chaussée.
- P : Puissance disponible pour fragmenter l'ancienne chaussée.
- I : présence d'un dispositif d'Injection d'eau.
- L : dosage de Liant sous forme liquide (eau + Liant hydraulique).

Le tableau 9 donne les conditions suivant lesquelles sont notés les différents critères.

Critères		NOTE		
		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 ⁽¹⁾	Réglage et contrôle de l'épaisseur	Réglage de l'épaisseur
P	Puissance disponible par mètre linéaire de rotor de fraisage	> 70 kW	35 < P ≤ 70 kW	≤ 35 kW
I	Possibilité d'injecter l'eau dans la chambre de malaxage ou de fragmentation	Pompe à débit variable asservi à la translation et rampe de largeur variable	Pompe à débit variable asservi à la translation	pas d'asservissement
L	Dosage du liant sous forme de liquide (eau + liant hydraulique)	Pompe à débit variable asservi à la vitesse de translation ou au poids de matériau retraité + débitmètre (eau) et pesée (ciment)	Pompe à débit variable asservi à la vitesse de translation ou au poids de matériau à retraiter + compteur volumétrique	Pompe à débit variable non asservi

⁽¹⁾ La fonction de maintien à la profondeur du rotor de fraisage empêche la remontée de celui-ci en cas d'augmentation trop importante du couple de fraisage. La remontée du rotor ne peut se faire que manuellement par le conducteur.

Tableau 9 : Critères de qualification des matériels de retraitement.

3.6 - Compactage des matériaux retraités par un liant hydraulique

On utilise des compacteurs à cylindre(s) lisse(s) vibrant(s) et des compacteurs à pneumatiques ou encore des compacteurs mixtes (cylindre + pneumatiques) que l'on fait travailler en réalisant plusieurs passes derrière la machine de fragmentation ou la machine multifonction.

Les conditions d'emploi des compacteurs pour les chantiers de retraitement sont définies pour un matériau de difficulté de compactage de la classe DC 3. Le nombre de compacteurs nécessaires pour réaliser la densification du matériau est déterminé en fonction du débit des matériels de retraitement et du nombre de passes pour atteindre la qualité de compactage recherchée. Pour certains compacteurs bien identifiés, un CATM (Certificat d'Aptitude Technique des Matériels routiers) donne directement les conditions d'emploi. Pour les autres compacteurs, les conditions d'emploi sont déduites du tableau annexe 1 du recueil des CATM.

Dans tous les cas, après réglage, le compactage est terminé par un compacteur à pneus associé à un compacteur vibrant.

La norme NF P 98-115 contient les prescriptions suivantes pour le compactage des chaussées :

- la qualité q1, spécifiée pour les **couches de liaison et de base** supportant un trafic supérieur à T3 et lorsque les matériaux retraités ont une granulométrie en dehors du fuseau et/ou une $V_{80} \geq 0,8$. Dans tous les cas, le niveau q1 reste souhaitable lorsqu'on est en qualité de retraitement R2. Pour ce faire, on utilisera des compacteurs vibrants de la classe V4 ou V5 et des compacteurs à pneus de la classe P2 (norme NF P 98-736).
- la qualité q2, admise pour les **couches de liaison et de base** supportant un trafic inférieur ou égal à T3 et les **couches de fondation**. On obtient ce niveau de qualité de compactage avec des matériels au minimum de la classe V3 et des compacteurs à pneus de la classe P2.



Compacteur automobile monocylindre - RD 143 (76).

Par contre lorsque l'épaisseur à compacter est peu importante, on prendra la précaution d'utiliser des compacteurs vibrants de classe adaptée afin de ne pas fragmenter les matériaux au compactage.

3.7 - Matériels et niveaux de qualité du retraitement

Deux niveaux de qualité sont envisagés pour les chantiers de retraitement en place :

- le niveau R1 correspond aux meilleurs niveaux de qualité de retraitement et de performances mécaniques. Il est à retenir quand la classe de trafic concernée est supérieure à T3 et lorsque la couche retraitée est destinée à servir de liaison ou de base. Le niveau R1 reste souhaitable en couche de fondation.
- le niveau R2 conduit à des performances plus faibles. Il est admis lorsque le retraitement concerne des chaussées de trafic inférieur ou égal à T3 ou lorsque la couche retraitée est destinée à devenir une couche de fondation.

Le niveau de qualité de retraitement que le maître d'oeuvre peut imposer dans le cadre d'un appel d'offre ou accepter dans le cadre d'une variante est fixé dans le tableau 10. Il tient compte de la fonction de la nouvelle assise dans la chaussée (couches de fondation, de base ou de liaison) et du trafic.

Cas de chantier		Qualité	
Fonction de la couche retraitée	Classe de trafic	de retraitement	de compactage
Liaison ou base	T > T3	R1 (à retenir)	q1 (spécifiée)
Liaison ou base	T ≤ T3	R1 (à retenir) R2 (admise)	q2 (admise) q1 (souhaitable)
Fondation	Tous trafics	R1 (souhaitable) R2 (admise)	q2

Tableau 10 : Choix du niveau de qualité de retraitement en fonction du cas de chantier.

	3	2	1
H	Accepté	seulement si	Refusé
E	Accepté	T=3 et V=3	Refusé
P	Accepté	Refusé	Refusé
I	Accepté	Refusé	Refusé
L	Accepté	Accepté sous conditions	Refusé
L	Accepté	Refusé	Refusé
T	Accepté	seulement si H=3	
V	Accepté	seulement si H=3	

Compactage : qualité q1 si $T > 3$ ou $q2$ si $T \leq 3$
 Emploi de compacteurs V5 ou V4 et P2
 (voir V3 suivant l'épaisseur compactée)

Accepté Accepté sous conditions Refusé

Tableau 11 : Matériels nécessaires pour obtenir : le niveau de qualité R1 du retraitement.

Les niveaux de qualité R du retraitement ne peuvent être atteints que si :

- l'étude préalable démontre que la qualité des matériaux disponibles dans l'ancienne chaussée permet d'obtenir le niveau requis (homogénéité, performances mécaniques...),
- les matériels envisagés ou proposés permettent d'atteindre l'objectif. Cette condition est satisfaite par les valeurs des coefficients HEPIL et LTV des matériels telles que définies dans les tableaux 11 et 12.

3.8 - Rendement de l'atelier de retraitement

Le rendement de l'atelier de retraitement dépend du matériau en place. Le rendement se situe environ entre 1000 et 3500 m²/jour.

Ex : 1000 m² (7cm de BB + 23 cm de GH)

3500 m² (enduits + 30 cm de GNT)

	3	2	1
H	Accepté	Accepté	Accepté
E	Accepté	Accepté	Accepté
P	Accepté	Accepté	Accepté
I	Accepté	Accepté	Refusé
L	Accepté	Accepté	Refusé
L	Accepté	Accepté	Refusé
T	Accepté	seulement si H=3	
V	Accepté	seulement si H=3	

Compactage : qualité q2
 Emploi de compacteurs V3 ou V4 ou V5 et P2

Tableau 12 : Matériels nécessaires pour obtenir : le niveau de qualité R2 du retraitement.

Remarque

Pour une structure en place homogène, on pourra utiliser un pulvérisateur de sol ou une fraiseuse ne comportant pas la fonction dosage en liant liquide de coefficient HEPIL = 2233 ou 2333. Dans ce cas l'épandeur associé devra avoir le niveau 3 sur les critères T et V.

Pour le cas particulier des chaussées présentant des hétérogénéités transversales importantes et/ou une classe de trafic > T3, seul convient un matériel de retraitement associé à un malaxeur. Si on utilise un liant sous forme pulvérulente, le matériel ayant un coefficient HEPIL de 3333, on peut y associer un épandeur dont les critères T et V sont de niveau 2 ou 1.

4 - Modalités d'exécution

4.1 - Fabrication des matériaux retraités

Fragmentation

La granularité finale est souvent à \leq 20mm lorsque le matériau fraisé est un matériau lié au liant hydraulique ou au bitume. Pour les matériaux de chaussée non liés, la dimension maximale dépend de la granularité d'origine du matériau.



Citerne d'alimentation en eau de l'ARC 700 (APPIA) - RD 833.

Dans le cas d'un fraisage séparé de l'atelier de retraitement, les deux opérations se feront de manière rapprochée afin de ne pas trop subir les aléas climatiques (pluies, orages).

Humidification

Teneur en eau de compactage

La teneur en eau des matériaux en place peut avoir évolué par rapport à l'étude préalable. Il est impératif de la vérifier en début de chantier et aussi souvent que nécessaire pour quantifier le complément d'eau d'apport par rapport à la teneur en eau fixée.

Eau d'ajout

La quantité d'eau à ajouter est souvent importante (3 à 6%). Il est nécessaire de prévoir son approvisionnement en quantité et en qualité (absence de matières organiques, NF P 98 100) sur le chantier. Si la quantité d'eau d'ajout est trop importante il est possible de réaliser un double passage de la machine de retraitement.

Apport de liant hydraulique (sous forme pulvérulente)

La quantité de liant hydraulique est apportée en une seule passe. On veillera à ce que la quantité de liant soit épanchée uniformément sur toute la surface à retraiter.



Vis de répartition arrière de l'ARC 700 (APPIA).

Il est déconseillé d'épandre le liant hydraulique devant la machine de fragmentation dès que la vitesse du vent dépasse 40 km/h (guide traitement des sols) ou par temps de pluie. Pour s'affranchir d'une panne de l'une des machines de l'atelier de retraitement, il est recommandé de n'épandre le liant que sur une longueur maximum de 100 m. Lorsque le chantier implique de travailler en plusieurs bandes dans le sens transversal, l'épandage de liant se fera par bande avec un recouvrement de l'ordre de 10 cm afin d'éviter les surdosages. Dans le sens longitudinal les reprises en fin de bande se feront avec un chevauchement d'épandage de liant d'environ 1 mètre.

Malaxage

La machine de fragmentation ne peut assurer avec son rotor de fraisage qu'un malaxage vertical des matériaux dans le sens de l'épaisseur de la chaussée. La machine multifonction, qui dispose d'un malaxeur, permet de malaxer les matériaux dans le sens vertical et transversal de la chaussée. Dans ce cas la machine est assimilée à une centrale de malaxage qui assure le mélange du matériau 0/D avec le liant hydraulique et l'eau d'ajout.

Le travail de la machine de retraitement se fait par bande. Au cours du malaxage on vérifiera la profondeur du retraitement.

Lorsque le chantier implique de travailler en plusieurs bandes dans le sens transversal, on assurera un recouvrement de bande de l'ordre de 10 cm.

Les opérations de malaxage et de mise en œuvre doivent être terminées dans le délai de maniabilité du mélange.

4.2 - Mise en œuvre des matériaux retraités



Compactage après retraitement à la RACO.

Régalage

Le régalaage est effectué par une niveleuse ou par une table de finisseur associée à la machine multifonction.

Pré-compactage

Dans un premier temps, la bande retraitée est précompactée à raison de 1/3 à 2/3 de l'énergie totale de compactage (NF P 98-115)

Préfissuration

La préfissuration est souhaitable en couche de base pour des trafics \geq à T3. Elle est réalisée après la phase de pré-compactage.

Lorsque le retraitement est exécuté sur plusieurs bandes, la préfissuration est réalisée dans la continuité de celle réalisée sur la bande contiguë et sur toute la largeur de la chaussée.

Réglage

Le réglage permet d'amener la chaussée à son profil définitif. Il est effectué à la niveleuse par rabotage et élimination du matériau raboté sur toute la largeur

de la chaussée (NF P 98-115). Le calcul de dimensionnement doit tenir compte de l'épaisseur rabotée.

Compactage final

Le compactage final est mené de façon à atteindre la qualité de compactage spécifiée par le marché (cf. chapitre 3.6).

Maintien de la teneur en eau

Durant les différentes phases de mise en œuvre des matériaux retraités, on veillera particulièrement au maintien de la teneur en eau de surface (par arrosage superficiel).



Pose d'un enduit de cure gravillonné en attendant la couche de roulement.

Enduit de cure

L'enduit de cure sera réalisé au minimum à la fin de chaque journée de travail sur la zone retraitée. Si les conditions climatiques le nécessitent (forte chaleur, pluie orageuse), l'enduit est réalisé par 1/2 lot (environ une demi-journée de travail).

Dans le cas d'une mise en circulation immédiate, une couche de roulement provisoire est réalisée (cf. NF P 98-115). Selon les modalités de réalisation elle pourra remplacer l'enduit de cure.

4.3 - Cas des élargissements de chaussée

Le retraitement de la chaussée peut être associé, le cas échéant, à un élargissement de l'assise.

La structure de chaussée de l'élargissement doit être conçue en tenant compte du retraitement de l'ancienne chaussée.

5 - Contrôles

La qualité d'un chantier de retraitement est largement tributaire des performances des matériels utilisés et son suivi justifie les contrôles qui sont présentés dans ce chapitre. N'y sont développés que les contrôles spécifiques ou particuliers au retraitement proprement dit.

5.1 - Avant les travaux

Concernant les matériels, le SOPAQ doit contenir une présentation précise des caractéristiques techniques des matériels (coefficients HEPH et LTV) et les grandes lignes des modalités d'exécution (organisation du chantier).

Quelle que soit la taille du chantier, la réception des matériels est une phase essentielle dans la démarche qualité.

Dans le cas d'un atelier de retraitement avec références, la réception est faite au vu de ces références et de la conformité de l'atelier aux propositions faites dans le (SOPAQ). Pour des chantiers de plus de 50000 m² et dans le cadre d'une épreuve de convenance, un contrôle des organes de dosage des ajouts et la vérification des valeurs indiquées par des systèmes de contrôle continu sont justifiés.

Dans le cas d'un atelier de retraitement sans référence constitué pour le chantier, la réception des matériels passe par :

- un examen détaillé des fiches techniques matériel,
- la vérification de leur conformité au SOPAQ de l'offre et au PAQ,
- le contrôle des organes de dosage des ajouts, des outils de la fragmentation et des moyens de malaxage.

Les conditions de réception sont celles qui sont précisées dans l'exemple d'épreuve de convenance (cf. annexe 3).

Dans tous les cas, la réception des matériels de compactage est une étape importante. Il convient de vérifier que les matériels proposés sont adaptés (Certificats d'Aptitude Technique des Matériels : CATM) et que leurs fonctionnements et réglages sont conformes à leur classification pour réaliser le chantier.

5.2 - Pendant les travaux

Les contrôles se conçoivent d'une manière différente suivant la taille du chantier et la qualité du retraitement (R1 ou R2). Pour des chantiers de plus de 50000 m², une épreuve de convenance s'impose. A titre d'exemple, son contenu est détaillé en annexe 3.

Pour des chantiers de plus petite taille, les contrôles, adaptés à l'importance du projet doivent porter sur des points particuliers tels que présentés dans le tableau 13 pour constituer une épreuve de conformité.

5.3 - Après les travaux

Masse volumique

Contrôle in-situ si le matériau à traiter est homogène.

Géométrie

Les épreuves de conformité géométrique sont définies par la norme NF P 98-115.

Uni

Si nécessaire, le contrôle de l'uni longitudinal est réalisé à l'aide de l'API. Il peut s'avérer utile si la couche de roulement est réalisée dans le cadre d'un autre marché.

Homogénéité

Dans le cas où est réalisé un contrôle de l'homogénéité, celui-ci est effectué avant mise en œuvre de la couche de roulement définitive à l'aide de mesures de déflexion (normes NF P 98-200.1 et 200.2) dont le pas est inférieur à 10 mètres. Elles sont réalisées entre 3 et 7 jours d'âge.

Pour chaque journée de retraitement, les valeurs des déflexions devront être homogènes. Les zones où la déflexion est supérieure au double de la valeur moyenne du jour sont déclarées non conformes.

Paramètres contrôlés	Nombre d'essais	Méthode de contrôle	Tolérance
GRANULATS correcteurs et/ou complémentaires	PAS DE SPECIFICITE Le contrôle externe est défini dans le PAQ de l'entreprise. Le contrôle extérieur le complète.		
LIANT	Un prélèvement conservatoire de 2 kg de liant pulvérulent par porteur est réalisé par l'entreprise pour le maître d'œuvre.		
RETRAITEMENT ⇒ Dosage du liant pulvérulent	5 si $T \leq T3$ 10 si $T > T3$	Dosage surfacique à la bêche	R1 $\pm 10 \%$ R2 $\pm 20 \%$
⇒ Dosage du liant liquide	Continu	Pendant le retraitement suivi des indications du système de contrôle du débitmètre	$\pm 5 \%$
⇒ Dosage du liant dans tous les cas	1/lot	Pour chaque lot (journée) calcul de la teneur en liant par le rapport consommation/surface retraitée	$\pm 5 \%$
⇒ Teneur en eau	5 si $T \leq T3$ 10 si $T > T3$	Prélèvement pour essai après malaxage	en valeur absolue R1 : $\pm 2 \%$ R2 : $\pm 3 \%$
⇒ Epaisseur	3 si $T \leq T3$ 10 si $T > T3$	Vérification par sondage manuel après compactage	R1 : $\pm 5 \%$ R2 : $\pm 10 \%$
COMPACTAGE	PAS DE SPECIFICITE Le contrôle est fondé sur l'utilisation des CATM en retenant la compacité fixée lors de l'étude de formulation (q1 ou q2). Les tolérances et les dispositions qui en résultent sont celles définies à l'article 8.3.5.1.2.3 de la norme NF P 98-115. Des contrôles par mesures de la masse volumique in situ sont envisageables si $D < 31,5$ mm.		

Tableau 13 - Épreuve de conformité.

Annexe 1

Essai PROCTOR

Fabrication des éprouvettes par vibrocompression

Dispositions complémentaires aux normes

1) Essai PROCTOR (NF P 94-093)

Disposition particulière pour tenir compte des éléments supérieurs à 20 mm.

- Lors de l'analyse granulométrique, quantifier le pourcentage en poids d'éléments supérieurs à 20 mm.
- Remplacer poids pour poids ces éléments supérieurs à 20 mm par des éléments passant au tamis de 20 mm et retenus sur le tamis de 5 mm, et obtenus par criblage en laboratoire du matériau,
- Mélanger cette fraction 5/20 préparée avec la fraction 0/20, procéder à l'essai PROCTOR suivant la NF P 94-093.

2) Fabrication des éprouvettes par vibrocompression (NF P 98-230.1)

Disposition particulière pour tenir compte des éléments supérieurs à 20 mm.

- Quantifier le pourcentage en poids d'éléments supérieurs à 20 mm par analyse granulométrique,
- Remplacer poids pour poids ces éléments supérieurs à 20 mm par des éléments passant au tamis de 20 mm et retenus sur le tamis de 5 mm,
- Mélanger cette fraction 5/20 préparée avec la fraction 0/20,
- Procéder à la fabrication des éprouvettes par vibrocompression suivant la NF P 98-230.1.

Annexe 2

Prise en compte du trafic pour le dimensionnement de la structure

Définition du poids lourd

Le poids lourd est défini par la norme NF P 98-082 comme un véhicule dont le poids total en charge est au moins égal à 3,5 tonnes ($P_{TAC} \geq 35$ kN).

Cette définition diffère sensiblement de celle qui était prise en compte avant 1998 où le poids lourd était défini comme un véhicule dont la charge utile est au moins égale à 5 tonnes ($C_U \geq 50$ kN).

Il est admis que, dans les situations courantes, le passage du PL ($C_U \geq 50$ kN) au PL ($P_{TAC} \geq 35$ kN) est obtenu par un coefficient multiplicateur de 1,25.

Nombre PL ($P_{TAC} \geq 35$ kN) = 1,25 x nombre PL ($C_U \geq 50$ kN).

Calcul du nombre cumulé de poids lourds

Le dimensionnement d'une structure nécessite le calcul du nombre cumulé de poids lourds qu'elle devra supporter pendant sa durée de vie.

Pour calculer ce nombre cumulé N exprimé en nombre de poids lourds sur la voie la plus chargée, il est nécessaire de prendre des hypothèses concernant la durée de vie de la chaussée et la croissance du trafic :

$$N = 365.T.C$$

avec T : trafic poids lourds M_{JA} à l'année de mise en service sur la voie la plus chargée

$$C : (\text{facteur de cumul}) = d + \left(t.d. \frac{d-1}{2} \right)$$

avec d = durée de vie souhaitée pour la chaussée

t = taux de croissance linéaire annuel (croissance arithmétique)

(exemple : pour un taux de croissance de 5 %, $t = 0,05$)

Cette formule n'est valable que si la croissance du trafic se réduit à un seul taux. Si ce n'est pas le cas on se reportera au chapitre concerné (chapitre 2.3) de la notice d'utilisation du catalogue de structure de chaussées neuves 1998.

Taux de croissance et durée de vie sont des hypothèses normalement fixées par le maître d'ouvrage.

Dans le catalogue de structures de chaussées neuves du réseau national, les hypothèses qui ont été prises

sont une durée de vie de 30 ans avec une croissance linéaire (ou arithmétique) de 5 % pour le réseau structurant ; 20 ans et 2 % pour le réseau non structurant.

A défaut de données précises et compte tenu du domaine d'emploi de la technique, les hypothèses prises pour le réseau national non structurant seront généralement les mieux adaptées pour le dimensionnement des structures retraitées ($t = 0,02$ $d = 20$).

Calcul du nombre de sollicitations pour le dimensionnement

Le nombre de poids lourds à considérer pour le dimensionnement est celui qui emprunte la voie la plus chargée de la chaussée. Il est donc nécessaire d'affecter le nombre de poids lourds d'un coefficient qui tient compte de la répartition des poids lourds entre les différentes voies de chaussée (cf. chapitre 2.2 de la notice d'utilisation du catalogue de structure de chaussées neuves 1998).

Dans le cas de chaussées bidirectionnelles par exemple, et pour tenir compte du recouvrement des bandes de roulement, on peut admettre la règle suivante : (cf. guide technique conception et dimensionnement des structures de chaussées)

Chaussée dont la largeur est supérieur à 6 m
⇒ 50 % du trafic total PL des deux sens.

Chaussée dont la largeur est comprise entre 5 et 6 m
⇒ 75 % du trafic total PL des deux sens.

Chaussée dont la largeur est inférieure à 5 m
⇒ 100 % du trafic total PL des deux sens.

Le dimensionnement d'une structure de chaussée se fait en réalité à partir d'un nombre de sollicitations exprimé en nombre d'essieux équivalent N_E (essieu isolé de 130 kN en France). On transforme le nombre de PL en nombre d'essieux équivalents par la relation $N_E = \text{Nombre de PL} \times C_{AM}$.

C_{AM} est un coefficient d'agressivité structurelle moyen qui dépend du type de voie (spectre des PL) et de la structure (cf. chapitre 4.3 des hypothèses et données de calcul du catalogue de structure de chaussées neuves 1998).

N.B.

Les différentes classes de trafic exprimé en MJA pour la définition de la couche de roulement sont bornées par le même nombre de PL malgré le changement de définition du PL car les CAM, revus à la baisse, en tiennent compte.

Tableau de correspondance

Le changement de définition du poids lourd dans la norme NF P 98-082 et les entrées exprimées en trafic cumulé du catalogue de structure 1998 ne simplifient pas la manière d'appréhender le trafic.

Pour aider le maître d'œuvre ou le concepteur à situer son projet de retraitement en place par rapport aux différents référentiels techniques, nous avons établi un tableau de correspondance entre le trafic PL exprimé en MJA au moment de la mise en service et le trafic cumulé nécessaire au dimensionnement en prenant comme hypothèse un taux de croissance de 2 % ($\tau = 0,02$) et une durée de vie de 20 ans ($d = 20$).

Classe de trafic	T5	T4	T3 ⁻	T3 ⁺	Supérieur à T3 ⁺	
Nombre de poids lourds par jour et par sens au moment de la mise en service	0	25	50	85	150	Trafics forts et moyens justifiant une appréhension précise du trafic pour une étude de dimensionnement.
Nombre cumulé de poids lourds ($\tau = 0,02$ $d = 20$)	0	$0,22 \cdot 10^6$	$0,43 \cdot 10^6$	$0,74 \cdot 10^6$	$1,3 \cdot 10^6$	

Annexe 3

Contenu d'une épreuve de convenance

A envisager pour les chantiers de plus de 50 000 m²

L'épreuve de convenance est réalisée par l'entreprise et validée par le contrôle extérieur. Pratiquement elle se réalise dans les conditions normales de travail prévues pour le chantier et doit correspondre au moins à une demi-journée de travail.

Réception des matériels

Il s'agit de tous les matériels de l'atelier de retraitement et de mise en œuvre.

- Conformité des matériels par rapport au CCTP et au SOPAQ et/ou avis techniques et/ou fiches techniques des constructeurs et/ou certificats d'aptitude technique et/ou PAQ.
- Pour les matériels de retraitement : état des outils, fonctionnement des systèmes de dosage et de contrôles des ajouts liquides, réglage des épandeurs de pulvérulents...
- Pour les compacteurs : vérification des caractéristiques de fonctionnement (vibration, amplitude, fréquence, charge par roue, dispositifs de contrôle...) et présence d'un contrôlogueur sur chaque compacteur.

Modalités d'exécution de la mise en œuvre

L'épreuve de convenance concernant la mise en œuvre est la même que pour un chantier classique (cf. article III.6.3 du fascicule 25 du CCTG).

Le contrôle est fondé sur l'utilisation des Certificats d'Aptitude Technique des Matériels (CATM).

L'épreuve de convenance est déclarée conforme si les conditions suivantes sont satisfaites :

- la valeur du moment des excentriques est conforme à la valeur fixée par le PAQ,
- le tonnage retraité est égal à $\pm 10\%$ du tonnage fixé par le PAQ,
- les fréquences de vibration et les vitesses de translation des différents compacteurs vibrants ne diffèrent pas plus de 20 % des valeurs prescrites,
- le tonnage normalement compactable par l'atelier est supérieur ou égal au tonnage retraité (cf. article 8.3.5.1.2 de la norme NF P 98-115).

Remarque

dans le cas où le D du matériau est inférieur à 31,5 mm, on peut réaliser des mesures de masse volumique in situ qui doivent satisfaire à la qualité de compactage prescrite dans le marché.

Modalités d'exécution du retraitement

Paramètre contrôlé	Essai	Critère d'essai	Critère d'acceptation
Fragmentation	Examen visuel	Continu	D max ≤ 63 mm
Ajout de liant pulvérulent	Dosage surfacique à la bêche (par référence à l'étude de formulation)	Minimum 20 essais (10 si l'épandeur fait l'objet d'un avis technique)	(En valeur relative, cette valeur incluant la correction due au coefficient de variation propre au matériel utilisé) R1 : $\pm 10\%$ R2 : $\pm 20\%$
Humidification	Teneur en eau (sur le matériau après malaxage et par référence à l'étude de formulation)	Minimum 10 essais	(en valeur absolue) R1 : $\pm 2\%$ R2 : $\pm 3\%$
Ajout de liant liquide	Vérification des débits et asservissements. Contrôle de distribution dans la chambre.	Contrôles dans les conditions de fonctionnement du chantier	(en valeur relative) $\pm 5\%$ par rapport au débit théorique
Epaisseur	Vérification par sondage manuel avant et après compactage.	Minimum 10 contrôles.	(après compactage en valeur relative) R1 : $\pm 5\%$ R2 : $\pm 10\%$



Ce livret a été rédigé, sous la coordination de
D. Bourdrel par :

MM. J. Bauer - R. Kobisch - M. Lefort - JP. Michaut
- D. Thouret - JC. Valeux - D. Vincent.





Livret III - Liants composés

Sommaire

1 - Principe de la technique - Objectifs et domaine d'emploi	76
1.1 - Historique - principe - définition	76
1.2 - Objectifs	77
1.3 - Domaines d'emploi	77
1.4 - Avantages et limites d'emploi	77
2 - Les études	78
2.1 - Diagnostic d'état de la chaussée existante	78
2.2 - Caractérisation des matériaux en place	79
2.3 - Faisabilité de la technique	79
2.4 - Étude de formulation	79
2.5 - Dimensionnement	81
2.6 - Justification de la structure	83
3 - Les matériels	84
3.1 - Fonction fragmentation	84
3.2 - Fonction apport de liant	84
3.3 - Fonction malaxage	84
3.4 - Fonction apport d'eau	84
3.5 - Critères de performances des matériels de retraitement	85
3.6 - Compactage des matériaux retraités	86
3.7 - Matériels et niveaux de qualité du retraitement	87
3.8 - Rendement de l'atelier de retraitement	88
4 - Modalités d'exécution	89
4.1 - Fabrication des matériaux retraités	89
4.2 - Mise en oeuvre des matériaux retraités	90
4.3 - Dispositions particulières	90
5 - Contrôles	92
5.1 - Avant les travaux	92
5.2 - Pendant les travaux	92
5.3 - Après les travaux	92
Annexe 1 - Prise en compte du trafic pour le dimensionnement de la structure	94
Définition du poids lourd	94
Calcul du nombre cumulé de poids lourds	94
Calcul du nombre de sollicitations	94
Tableau de correspondance	95
Annexe 2 - Contenu d'une épreuve de convenance	96

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 retraitement en place au ciment de matériaux contenant une part importante de bitume que l'idée des liants composés semble être née.

Lors de ces études, il a été remarqué une chute importante du module en fonction de la part bitumineuse sans que la résistance en traction ne soit trop altérée. Ces caractéristiques ont été jugées suffisamment favorables au dimensionnement pour poursuivre les investigations.

C'est parce que cette part de bitume n'était pas maîtrisable, car dépendante de l'épaisseur de la couche hydrocarbonée de l'ancienne chaussée, que des émulsions compatibles avec le ciment ont été mises au point pour apporter un complément de bitume par le biais d'une émulsion.

Sur les chantiers réalisés dans ces conditions, on constate qu'en apportant de l'émulsion on obtient un meilleur comportement à la fissuration des traitements aux liants hydrauliques. Inversement, on peut aussi dire qu'on apporte une amélioration du comportement mécanique des traitements à l'émulsion en ajoutant un liant hydraulique.

Issus de l'association d'un liant bitumineux (généralement sous forme d'émulsion) et d'un liant hydraulique tel que les ciments normalisés ou les liants hydrauliques routiers, ces liants sont appelés **liants composés**.

Les liants composés peuvent résulter de l'incorporation successive des deux constituants dans le corps granulaire ou être prêts à l'emploi par élaboration préalable dans une unité spécifique.

C'est lors de l'étude de formulation, et avec une bonne connaissance des matériaux en place, que l'on choisit les liants composés.

Le retraitement en place aux liants composés correspond à la technique de classe V (tel que défini dans le chapitre 3 de la présentation du guide).

C'est une technique qui permet de résoudre des problèmes de défauts structurels ou de couches de surface.

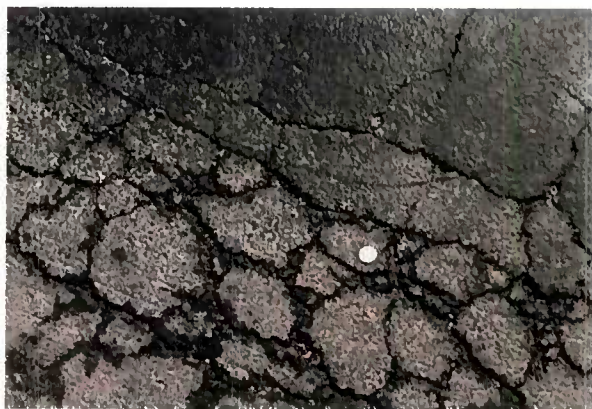
L'exécution des travaux de retraitement en place aux liants composés intègre différentes opérations faisant appel à une ou plusieurs machines.

Le principe consiste à :

- fraiser le matériau à retraiter (avec l'apport éventuel de matériaux correcteurs et/ou complémentaires).
- ajouter le liant composé, en humidifiant si nécessaire.
- homogénéiser le matériau retraité.
- régaler et compacter.
- réaliser, dans la majorité des cas, un scellement de surface puis, suivant le trafic une couche de roulement en enduit superficiel ou en béton bitumineux.

Ces opérations peuvent être réalisées par une ou plusieurs machines.

Les conditions de réalisation du retraitement sont essentielles et conduisent à des qualités différentes. Il est important que le maître d'œuvre dans son dossier d'appel d'offre impose des caractéristiques de matériel en fonction de la qualité du retraitement qu'il veut obtenir (ou a retenu dans son étude de dimensionnement).



Chaussée avant retraitement.

1.2 - Objectifs

L'objectif est de recréer une nouvelle structure en corrigeant les insuffisances ou défauts de l'ancienne chaussée.

Par retraitements en place aux liants composés, on réhabilite des chaussées en réalisant suivant le cas, une nouvelle couche d'assise (insuffisance de l'ancienne chaussée) ou une nouvelle couche de liaison. (défaut des couches de surface de l'ancienne chaussée).

1.3 - Domaines d'emploi

La technique de réhabilitation aux liants composés est aussi bien réalisable en rase campagne qu'en traverse d'agglomération (après opération de fraisage préalable).

Généralement, les problèmes à résoudre sont traités, avec les matériels adaptés, dans les différentes gammes d'épaisseurs suivantes :

- jusqu'à 15 cm, pour résoudre des problèmes d'interface, de "décohésions" et/ou de fissuration des couches supérieures, et lorsqu'il n'y a pas de préoccupation particulière au niveau de la structure de chaussée (dans ce cas, la partie retraitée sera une nouvelle couche de liaison).
- de 15 à 20 cm, en cas d'insuffisance structurelle mineure de la chaussée, avec d'éventuels soucis d'interface, de "décohésion" et/ou de fissuration (dans ce cas, la partie retraitée sera une nouvelle couche de base).
- jusqu'à 30 cm, en cas d'insuffisance structurelle majeure (dans ce cas, la partie retraitée sera une nouvelle couche d'assise).

Une couche de roulement suit l'opération de retraitement.

1.4 - Avantages et limites d'emploi

La technique des retraitements en place aux liants composés offre de nombreux avantages sur les plans environnementaux, techniques et économiques.

Avantages environnementaux

- Permet la réutilisation, par la valorisation en place, des matériaux de l'ancienne chaussée.
- Réduit au minimum l'extraction de granulats en carrière ou ballastière et contribue de cette façon à préserver l'environnement.
- Évite la mise en décharge des matériaux (loi sur la mise en décharge des déchets).
- Rapidité d'exécution, les retraitements en place diminuent la gêne aux usagers et riverains.

Avantages techniques

Les retraitements aux liants composés permettent la réalisation de couches traitées homogènes, durables et stables qui présentent les caractéristiques techniques suivantes :

- pérennité comparable, à ce jour, aux solutions traditionnelles (résultat des Chartes innovation).
- conservation des seuils (accotements, caniveaux et regards...).
- amélioration des caractéristiques de la chaussée telles qu'uni, dévers, etc....
- possibilité de ne retraiter qu'une voie de circulation de la chaussée.
- couche insensible à l'orniérage.
- possibilité de retraiter tout ou partie de la structure de chaussée pour refaire, soit une couche de liaison, soit une couche de base et/ou de fondation.
- matériau à capacité de déformation relative suffisante pour diminuer notablement les risques de fissuration.
- augmentation du délai de maniabilité grâce à la phase aqueuse spécifique de l'émulsion.

Avantages économiques

- Economie de matériaux neufs.
- Economie sur le transport des matériaux.
- Préservation du réseau routier desservant le chantier par la réduction du tonnage de matériaux transportés.
- Economie d'énergie par rapport aux solutions traditionnelles.

Limites de la technique

- Présence de pavés ou de béton dans la structure à retraiter (la dimension maximale acceptable par le matériel est souvent limitée à 80 mm).
- Propreté des matériaux en place.

2 - Les études

Comme pour les solutions traditionnelles de renforcement, tout projet de retraitement en place de chaussées (dont les structures sont très diverses) ne peut être conçu sans une étude adaptée aux enjeux technico-économiques.

Cas d'une étude complète

L'idéal serait de toujours réaliser l'étude complète quel que soit l'enjeu technico-économique. Elle devient indispensable pour les chantiers de trafic $T > T3$ et dans tous les cas si $VBS > 0.8$ et/ou lorsque les matériaux sont mal gradués (malgré l'apport de matériaux correcteurs).

Elle comporte les étapes suivantes :

- 1) Le diagnostic d'état de la chaussée existante (cf. 2.1).
- 2) La caractérisation des matériaux en place (cf. 2.2).
- 3) La faisabilité de la solution de retraitement (cf. 2.3).
A ce moment, le technicien sera en possession des éléments nécessaires pour décider de la faisabilité du retraitement en place.
- 4) Une étude portant sur la formulation (cf. 2.4).
- 5) Un dimensionnement de la structure à mettre en œuvre (cf. 2.5).

Cas d'une étude restreinte

Ce cas ne concerne que les chaussées de trafic $T \leq T3$ dont les matériaux sont bien gradués et de $VBS < 0.8$.

La réussite d'un chantier de retraitement faisant l'objet d'une étude restreinte ne peut s'envisager qu'en s'appuyant sur une expérience locale solide (connaissance des structures des anciennes chaussées) et une compétence professionnelle affirmée de la part des intervenants.

L'adaptation du contenu de l'étude à l'importance économique de la route, suivant les risques envisagés par le maître d'ouvrage, ne saurait dispenser du minimum de reconnaissance **absolument nécessaire** à la réussite de l'ouvrage.

L'étude restreinte devra comporter au minimum :

- 1) Le diagnostic d'état de la chaussée existante (cf. 2.1).
- 2) La caractérisation des matériaux en place (cf. 2.2).
- 3) La faisabilité de la solution de retraitement (cf. 2.3).

- 4) Sur demande, la justification de structure par un dimensionnement (cf. 2.6).

2.1 - Diagnostic d'état de la chaussée existante

Cette première phase vise à déterminer les zones homogènes à traiter et les causes probables de dégradations constatées, facteurs à intégrer dans la définition du projet.

Ce diagnostic d'état est réalisé à partir :

- des données existantes (Banque de Données Routière, carnets graphiques, mesures de déflexions, etc. ...).
- des relevés visuels avec observations ou mesures de la géométrie de la chaussée (besoins de reprofilage, rabotage) et de son environnement hydrique (nappes, sources, etc. ...) pour d'éventuels travaux préparatoires.
- des sondages qui sont indispensables pour confirmer la faisabilité de la technique et résoudre le problème structurel posé par la réhabilitation de la chaussée tel qu'il s'est révélé lors de l'étude de diagnostic préalable.

Lors des sondages, on pourra réaliser des mesures de densité en place qui seront utiles pour déterminer le contre foisonnement et la masse de(s) liant(s) à incorporer.

Les sondages sont réalisés préférentiellement sous forme de tranchées allant de la rive vers l'axe de la demi-chaussée. Le nombre minimum de sondages recommandé est de 1 pour 500 mètres de chaussée à traiter, davantage (par exemple 1 par 200 m), si la structure est hétérogène. Ils sont réalisés à la pelle mécanique ou à l'aide d'une fraiseuse pour les matériaux liés (le prélèvement par fraisage permet de mieux apprécier la granularité du matériau au sortir de la machine de retraitement). Ils permettent :

- de visualiser la nature et l'épaisseur des différentes couches rencontrées.
- de prélever des matériaux par couche ou globalement en vue d'analyse.
- de noter d'éventuelles arrivées d'eau dans les fouilles.
- d'identifier le sol support.

2.2 - Caractérisation des matériaux en place

Il faut prélever une quantité suffisante des matériaux destinés à être retraités afin de les identifier en laboratoire et si nécessaire pouvoir procéder à l'étude de formulation.

On procède à la détermination de la nature des matériaux valorisables de la structure, à partir des essais de laboratoire suivants :

- teneur en eau.
- granulométrie.
- propreté par l'essai de Valeur au Bleu de méthylène VBS.
- éventuellement, teneur en bitume du mélange à retraiter.

D'autres caractéristiques telles que pourcentage de matières organiques, sulfates, sulfures, nitrates (etc...), pourront être à déterminer en fonction des matériaux rencontrés.

2.3 - Faisabilité de la technique

A ce niveau de l'étude et à partir des matériaux à retraiter en place, la faisabilité de la technique est considérée réalisable si :

- l'épaisseur des matériaux valorisables est suffisante (si l'épaisseur des matériaux valorisables n'est pas suffisante, un ajout de matériaux complémentaires est à envisager. Après ajout, l'épaisseur à retraiter sera au moins égale à celle définie au prédimensionnement ou à la justification de structure).
- la valeur de l'essai au bleu VBS ≤ 0.8 (si la VBS est > 0.8 , une étude des performances mécaniques est à prévoir).
- il n'y a pas de dalles de béton, de pavés ou autres éléments supérieurs à 80 mm dans la zone d'évolution de la fraiseuse car les trop gros éléments sont mécaniquement préjudiciables au rotor de la fraiseuse et peuvent provoquer des casses de pièces (s'il y a présence, connue ou décelée lors des sondages, de dalles de béton, de pavés ou autres éléments supérieurs à 80 mm, certains matériels disposent d'une grille d'écrêtage ou d'un crible permettant d'éliminer les gros éléments, sinon un concassage mobile est tout à fait envisageable).
- il n'y a pas de plaques en fonte et autres éléments métalliques (s'il y a présence, connue ou décelée lors des sondages, de plaques en fonte, tuyaux, armatures, etc...), il sera possible de procéder à leur enlèvement préalable).

2.4 - Étude de formulation

Les précautions à prendre pour l'établissement de la formulation concernent la représentativité des matériaux utilisés pour l'étude. Cela justifie que le chantier soit éventuellement découpé en zones homogènes en nature et en épaisseur des matériaux à retraiter et qu'un prélèvement soit effectué sur chacune d'elles.

L'étude de formulation comprend :

- 1) L'étude granulométrique (cf. 2.4.1).
- 2) Le choix du liant composé (cf. 2.4.2).
- 3) La teneur en eau et la masse volumique apparente de référence (cf. 2.4.3).
- 4) Suivant le niveau de trafic, l'étude des performances mécaniques du mélange retraité (cf. 2.4.4).

2.4.1 - Etude granulométrique

L'étude tiendra compte de l'apport de matériaux complémentaires et/ou prévoira la modification éventuelle de la courbe granulométrique par matériaux correcteurs dans des proportions à déterminer.

L'objectif est d'obtenir un mélange dont la granularité est aussi proche que possible que celles prévues dans les cas suivants :

- si le $D \geq 31,5$ mm on utilise la norme NF P 98-129,
- si le $D \leq 20$ mm, on utilise la norme NF P 98-116.

Le D du matériau à retraiter doit être inférieur à 63 mm (0/63)) et sans éléments supérieurs à 80 mm.

2.4.2 - Liant composé

La nature et la quantité de chacun des deux liants qui forment le liant composé, ainsi que la détermination de la teneur totale en liant composé, seront déterminées lors de l'étude des performances mécaniques (cas d'une étude complète), sinon pris par défaut à 2% de ciment normalisé et 3% d'émulsion (cas d'une étude restreinte).

Eventuellement, on vérifiera la compatibilité des "matériaux à retraiter/liant composé" sur la fraction inférieure à 6 mm par un essai d'évaluation de l'aptitude au traitement suivant la NF P 94-100.

2.4.3 - Teneur en eau et masse volumique apparente de référence

La teneur en eau et la masse volumique de référence est déterminée par l'essai PROCTOR modifié (quelques cas pourront être complétés ou traités par l'essai PCG).

2.4.4 – Performances mécaniques

Les performances mécaniques sont mesurées à au moins 360 jours en traction directe ou en compression diamétrale (dans ce cas et en l'absence d'étude de correspondance, on adoptera la règle $R_t = 0,8R_{ct}$). La courbe du matériau recomposé en laboratoire sera issue de l'étude granulométrique et sera aussi proche que possible de celle que l'on va obtenir derrière la machine de retraitement.

La compacité des éprouvettes doit être réaliste et tiendra compte du niveau de qualité de compactage prévu sur le chantier :

- 100% de la référence PROCTOR modifié (q1),
- 97% de la référence PROCTOR modifié (q2).

Comme pour les matériaux traités en centrale, ou il est rarement possible de mesurer les performances mécaniques à long terme avant le démarrage du chantier, on pourra aussi apprécier les performances à un an à partir d'essais réalisés à 28 ou mieux 90 jours.

Le tableau 1 propose des valeurs indicatives moyennes de coefficients de correspondance pour des matériaux retraités par un liant composé de 2,0 % de ciment normalisé et 3,0 % d'émulsion et avec des exemples pour deux cas extrêmes tels que :

- exemple 1 : matériaux essentiellement bitumineux (environ 80% d'éléments bitumineux) retraités au liant composé,
- exemple 2 : autres corps granulaires comprenant environ 20% d'éléments bitumineux et retraités au liant composé.

Il sera toujours souhaitable de mesurer les performances à 360 jours pour valider les hypothèses de départ.

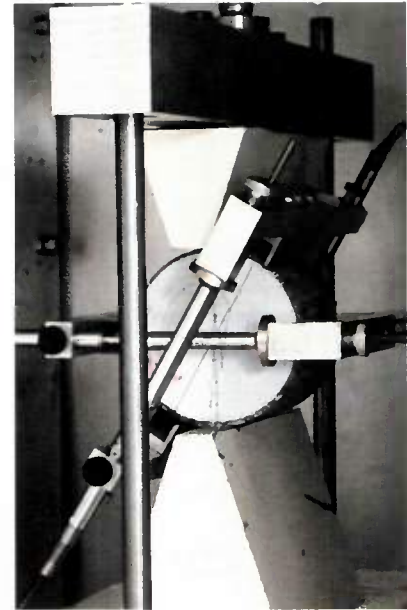
2.4.5 – Performances mécaniques pour le dimensionnement

Les performances mécaniques pour le dimensionnement concernent le comportement en fatigue et les dispersions sur les performances des matériaux retraités en place. Il s'agit de :

- σ_6 contrainte à la rupture pour 10^6 chargements,
- $1/b$ et $1/\beta$ pente de la droite de fatigue en coordonnées semi-logarithmique et bilogarithmique.

Le tableau 2 donne les valeurs de relations entre paramètres mesurés et les valeurs de pente de droite de fatigue pour des matériaux correspondant aux deux exemples cités précédemment.

Ces matériaux sont bien gradués et présentent des $V_{BS} < 0,8$. Le retraitement est effectué avec un dosage de 2 % de ciment normalisé et 3 % d'émulsion de bitume.



Essai brésilien sur éprouvette de matériau.

Age	Exemple 1	Exemple 2
$R_{t_{28}}/R_{t_{360}}$	0,48	0,76
$E_{t_{28}}/E_{t_{360}}$	0,33	0,68
$R_{t_{90}}/R_{t_{360}}$	0,70	0,82
$E_{t_{90}}/E_{t_{360}}$	0,45	0,75

Tableau 1 : Valeurs indicatives moyennes des coefficients de correspondance pour l'estimation des performances mécaniques à 360 jours.

	Exemple 1	Exemple 2
R_t / R_{tB}	0,8	0,8
R_f / R_t	1,5	1,65
σ_6 / R_f	0,43	0,54
σ_6 / R_t	0,53	0,96
- $1/\beta$	10,2	12
- $1/b$	9,5	13,7

Avec R_t Résistance en traction directe
 R_{tB} Résistance en traction avec l'essai "Brésilien"
 R_f Résistance en traction à partir d'un essai de flexion.

Tableau 2 : Valeurs indicatives de paramètres et relations entre paramètres.

Afin de prendre en compte dans le dimensionnement l'écart entre les résultats d'une étude de laboratoire et les performances obtenues sur chantier, les valeurs obtenues sont minorées de 30 % pour la résistance en traction à 360 jours et de 10 % pour le module à 360 jours.

Cela conduit aux relations suivantes :

$$\sigma_6 = 0,7(\sigma_6 / R_t) R_{t_{360}}$$

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

2.5 - Dimensionnement

Pour le dimensionnement des structures comportant des matériaux retraités aux liants composés, les dispositions contenues dans le guide technique de "Conception et dimensionnement des structures de chaussées" de Décembre 1994, seront appliquées.

Le dimensionnement est systématique pour les chantiers dont le trafic est supérieur à T3 et pour tous les trafics lorsque la VBS du matériau à retraiter est supérieure à 0,8 ou lorsque ces matériaux sont mal gradués.

La justification de la structure sera réalisée lorsque les chaussées ont un trafic inférieur ou égal à T3, avec des matériaux bien gradués et de $V_{BS} < 0,8$.

La méthode utilisée pour cette justification est décrite dans le paragraphe 2.5.5.

2.5.1 - Choix de la couche de roulement

Une couche de roulement est toujours à prévoir.

Les valeurs minimales à retenir sont les suivantes :

T4 - T5 : un enduit superficiel est souvent suffisant (si $D < 20$ mm)

T3 - T2 : 4 cm de béton bitumineux

T > T2 : 6 cm de béton bitumineux.

Remarque

Le choix de la couche de roulement dépend du trafic et des objectifs en terme de niveau de service.

Les indications développées dans le guide technique de conception et de dimensionnement des structures de 1994 ainsi que les propositions faites dans le catalogue des structures de 1998 peuvent apporter une aide pour ce choix.

2.5.2 - Sol support

La portance du sol support est soit :

- mesurée (module EV2) s'il y a eu fraisage préalable de la chaussée,
- estimée par modélisation à partir des mesures de déflexions réalisées sur l'ancienne chaussée (lorsque celle-ci est souplé) et de sa structure relevée par sondage.

Pour obtenir cette estimation, il convient de déterminer par ajustement le module à attribuer au sol pour que le modèle de calcul conduise à une déflexion calculée identique à celle mesurée.

Pour les matériaux de l'ancienne chaussée à retraiter, on retiendra les caractéristiques suivantes :

- matériaux dits "noirs" constitués d'enduits divers et de couche de BB dont l'épaisseur est ≤ 5 cm $E = 2000$ MPa.

En cas d'épaisseurs supérieures à 5 cm, on retiendra la valeur indiquée précédemment pour les 5 cm inférieurs et une valeur de 5000 MPa pour la partie supérieure.

- corps de chaussée granulaire $E = 4$ fois le module du sol ou de la couche inférieure et ce par couche de 25 cm avec un plafond de 320 MPa.

- toutes les couches sont considérées comme collées avec un coefficient de Poisson de 0,35.

2.5.3 - Partie restante de l'ancienne structure

La partie restante de l'ancienne structure, non concernée par le retraitement, est prise en compte dans la modélisation de la nouvelle structure obtenue après retraitement.

Elle est introduite dans le logiciel de calcul par son module et son épaisseur.

Si l'épaisseur est :

- inférieure à 5 cm, on lui affecte le module du sol support,
- supérieure ou égale à 5 cm, on prend une valeur de module égale à 4 fois la valeur du module du sol support avec un maximum de 320 MPa.

S'il s'agit de matériaux traités, les modules pourront être déterminés à partir d'essais sur carottes.

2.5.4 - Dimensionnement de la structure

a/ Trafic

Pour la manière d'appréhender le trafic, on se reportera à l'annexe 1 du présent document.

Dans le cas où l'agressivité réelle du trafic lourd n'est pas connue, on prendra les valeurs de coefficient d'agressivité moyen (CAM) indiquées dans le tableau 3.

Ces valeurs sont applicables au niveau de la plateforme et du matériau retraité.

Classe de trafic (MJA)	T5	T4	T3	T3*	$\geq T2$
CAM	0,4	0,5	0,7	0,8	1

Tableau 3 : Valeur des CAM.

b/ Calcul des contraintes admissibles

Pour le calcul des contraintes admissibles, on retiendra la démarche du guide technique "Conception et dimensionnement des structures de chaussées".

Les valeurs des différents coefficients et paramètres à prendre en compte sont les suivants :

- Coefficient de calage

Si le support de la couche retraitée est une partie significative (≥ 5 cm) de l'ancienne chaussée (ou de l'ancienne couche de forme), on peut prendre un coefficient de calage de 1,6, dans le cas contraire, la valeur de 1,5 est à retenir. Les avis techniques et/ou certificats de chartes innovation pourront proposer d'autres coefficients de calage.

- Risque

Le maître d'ouvrage pourra si nécessaire adapter le risque à admettre pour la période de calcul en fonction de l'enjeu technico-économique du projet.

A titre d'illustration, les risques généralement admis sont contenus dans le tableau 4.

Trafic (MJA)	$\leq T3$	T2	T1	T0
Risque r	12,5	7,5	5	2,5

Tableau 4 : Valeurs de risque généralement admis.

Qualité retraitement	R1		R2
	e = 10 cm	e > 10 cm	Toutes épaisseurs
Sh	2	3	5
SN	1,0		1,5

Tableau 5 : Valeurs de Sh et SN.

- Valeurs des dispersions Sh et SN

- Sh : dispersion sur l'épaisseur de la couche mise en œuvre.

- SN : dispersion sur les performances en fatigue du matériau retraité.

Les valeurs de Sh et de SN à considérer dépendent des classes de retraitement R1 ou R2 telles que définies dans le chapitre 3.7 "Matériels et niveaux de qualité du retraitement". Les valeurs de Sh et SN à prendre en compte sont données dans le tableau 5.

- Modélisation de la structure

La modélisation de la structure est réalisée avec le logiciel ALIZE en introduisant :

- les caractéristiques du sol support (chapitre 2.5.2),

- les caractéristiques de la partie de l'ancienne chaussée conservée (chapitre 2.5.3),

- les caractéristiques mécaniques du matériau obtenu par retraitement en place avec un liant composé en fonction des résultats de l'étude de formulation (chapitre 2.4),

- la couche de roulement.

Les constatations faites sur chantier permettent de valider les conditions d'interfaces suivantes :

- les enrobés sont collés sur les matériaux retraités aux liants composés,

- les matériaux retraités aux liants composés sont considérés collés entre eux et sur un support traité lorsqu'il y a une couche d'accrochage.

En l'absence de couche d'accrochage, on prendra l'hypothèse des matériaux traités aux liants hydrauliques.

2.5.5 - Tenue au gel/dégel

Si une vérification au gel/dégel de la nouvelle structure est demandée par le maître d'ouvrage, elle se fait selon la méthode décrite dans le Guide technique "Conception et dimensionnement des structures de chaussées" LCPC/Setra de Décembre 1994.

L'appréciation du comportement au gel/dégel repose sur la détermination de l'indice de gel admissible de la chaussée et s'effectue en quatre étapes :

- 1) Appréciation de la sensibilité au gel des sols,
- 2) Détermination de la protection thermique apportée par les matériaux non gélifs des couches de chaussée et éventuellement de la partie de la couche de forme restante.
- 3) Détermination de l'indice de gel admissible de la chaussée.
- 4) Comparaison avec l'indice de gel de référence défini par le maître d'ouvrage.

Cette vérification n'est pas nécessaire si l'ancienne chaussée assurait une protection au gel suffisante et si les objectifs n'ont pas été changés. (même si le sol support est gélif et y compris si le climat est rigoureux).

La vérification au gel est par contre nécessaire si le gel est la cause des dégradations amenant l'étude de réhabilitation de la chaussée.

2.6 - Justification de la structure

La justification de la structure ne concerne que les chaussées dont le trafic est inférieur ou égal à T3 avec des matériaux bien gradués présentant une VBS inférieure à 0,8.

Dans ce cas, l'étude de formulation n'est pas obligatoire.

Les valeurs de paramètres de modélisation et de calcul de la contrainte admissible contenues dans le tableau 6 constituent des valeurs indicatives.

Les valeurs sont données pour les deux exemples de matériaux définis dans les chapitres 2.4.4 et 2.4.5. Le retraitement est effectué avec un dosage de 2 % de ciment normalisé et 3 % d'émulsion de bitume.

	Exemple 1	Exemple 2
E (MPa)	5500 ⁽¹⁾	14500 ⁽¹⁾
Coefficient de Poisson	0,30	0,25
σ_6 (MPa)	0,33 ⁽²⁾	0,66 ⁽²⁾
Pentes droite de fatigue - 1/b	9,5	13,7

⁽¹⁾ Ces valeurs de module sont déjà minorées de 10 %.

⁽²⁾ Ces valeurs de σ_6 comprennent déjà la minoration de 30 % sur la résistance en traction.

Tableau 6 : Valeurs indicatives.

3 - Les matériels

Le choix de matériels adaptés au cas de chantier à réaliser est très important pour la réussite et la pérennité de l'ouvrage.

Les progrès technologiques des constructeurs de matériels, les spécifications techniques de l'administration et le savoir-faire des entreprises qualifiées ont permis de mettre au point des matériels performants et bien adaptés aux retraitements en place.

Afin d'aider au bon choix du matériel, le maître d'oeuvre et l'entreprise disposent :

- de normes établissant la terminologie et les principales spécifications techniques.
- d'avis techniques et de certificats d'aptitude technique (pour certains matériels) donnant l'aptitude et le niveau de performances.
- de codifications des principales caractéristiques techniques influençant la qualité du retraitement.

3.1 - Fonction fragmentation

La vitesse linéaire des outils, leur forme, leur nombre, leur disposition sur le tambour de fraisage, leur usure, interviennent dans la fragmentation des matériaux.

Suivant la dureté des matériaux rencontrés, il est nécessaire de changer plus ou moins fréquemment les outils du rotor de fraisage, car la régularité de l'épaisseur de retraitement et la qualité de la fragmentation en dépendent.

3.2 - Fonction apport de liant

La fonction apport de liant peut être réalisée de 2 manières :

- 1) Par apport successif du liant hydraulique (pulvérulent ou liquide) et du liant bitumineux (sous forme d'émulsion).
- 2) Par apport du liant composé prêt à l'emploi (sous forme liquide).

Le liant pulvérulent est, soit déposé à la surface de la chaussée devant la machine de fragmentation par un matériel spécifique, soit introduit dans la machine de fragmentation. Quelle que soit la méthode utilisée, on prendra les dispositions nécessaires pour protéger



l'environnement des poussières de liant par des moyens appropriés sur le matériel ou sur le liant (systèmes d'assainissement, liant à émission de poussières réduite, etc...).

Le liant sous une forme liquide, émulsion de bitume ou suspension eau + liant hydraulique ou liant composé prêt à l'emploi, est introduit directement dans la chambre de malaxage.

3.3 - Fonction malaxage

La fonction malaxage peut être obtenue :

- dans les deux sens, vertical + transversal, de la couche retraitée lorsqu'un malaxeur de type centrale de fabrication de grave traitée est associé au rotor de fraisage (machine multifonction) ou lorsque les matériels qui constituent l'atelier de retraitement assurent un brassage transversal suffisant,
- verticalement par le rotor de fraisage.

3.4 - Fonction apport d'eau

Si une humidification des matériaux à retraiter aux liants composés est nécessaire :

- l'apport d'eau totale ou complémentaire par une arroseuse devant la machine de fragmentation ou de malaxage est interdit car il est générateur d'hétérogénéités (mauvaise homogénéité du mélange, ruissellements, mauvaise maîtrise du dosage en eau etc...),
- l'introduction de l'eau se fera directement par une rampe de pulvérisation située au dessus du rotor de fraisage de la machine de fragmentation ou dans le malaxeur associé dans le cas de la machine multifonction,



Atelier de retraitement
ARC 700 (Appia) Flexocim.

Les épandeurs de liants pulvérulents

Ceux-ci sont utilisés lorsque le liant composé est réalisé in situ avec le liant hydraulique sous forme pulvérulente. Le matériel doit permettre l'obtention du dosage surfacique moyen visé et doit assurer l'homogénéité de l'épandage sur toute la surface à traiter, c'est à dire Longitudinalement (critère L de LTV) et Transversalement (critère T de LTV). Cette homogénéité, reflet de la précision du matériel, s'exprime par un Coefficient de Variation Longitudinale (CVL) et Transversale (CVT).

La possibilité de faire varier la largeur d'épandage de liant (critère V de LTV) permet d'adapter la largeur de travail de la machine de fragmentation sans créer de manque ou de surdosage en liant. Ce paramètre est indispensable si les matériaux ne sont pas homogénéisés transversalement.

Les valeurs sont indiquées dans l'avis technique du matériel (lorsqu'il existe) ou dans la fiche technique de l'entrepreneur. Elles peuvent être contrôlées au début de chantier.

Les critères de qualification des matériels utilisés pour les liants pulvérulents sont regroupés dans le tableau 7 sous les critères LTV, ils ont une note allant de 3 (valeur optimale) à 1 (valeur minimale).

Pour les liants liquides (émulsion ou liants composés), la fonction de dosage est incorporée dans les matériels de fragmentation et malaxage).

- le débit d'eau sera assuré par une pompe volumétrique asservie à la vitesse de translation de la machine,
- sur les machines de fragmentation, il sera nécessaire de disposer d'une rampe à largeur de pulvérisation variable et à contrôle de fonctionnement des jets afin d'éviter les surdosages ou les sous dosages en eau lorsque le profil transversal hydrique du matériau est hétérogène ou en cas de recouvrement de bandes de retraitement.

3.5 - Critères de performances des matériels de retraitement

La définition ou l'acceptation des matériels spécifiques à un chantier de retraitement aux liants composés peut être réalisée en fonction de :

- 3 critères pour les épandeurs de liant pulvérulent hydraulique (critères L, T, V) lorsque le liant composé est réalisé in situ,
- 5 critères pour les matériels de fragmentation et de malaxage (critères H, E, P, I, L).

Remarque

La norme NF P 98-115 pour l'exécution des corps de chaussées précise que les matériels ayant un Coefficient de Variation supérieur à 10 % ne sont pas autorisés. Un Coefficient de Variation de 10 % impliquerait de doser le liant à environ + 1 % (exemple 5% au lieu de 4%).

Critères	NOTE		
	3	2	1
L Homogénéité longitudinale d'épandage du liant (en %)	$CVL \leq 5$	$5 < CVL \leq 10$	$CVL > 10$
T Homogénéité transversale d'épandage du liant (en %)	$CVT \leq 10$	$10 < CVT \leq 20$	$CVT > 20$
V Possibilité de faire varier la largeur d'épandage	OUI	NON	NON

Tableau 7 : Critères de qualification des épandeurs.

Les matériels de fragmentation et de malaxage

Les performances de ces matériels sont établies à partir des critères suivants :

- **H** : qualité d'Homogénéisation du matériau avec le ou les liants liquides ou pulvérulents suivant que le matériel dispose ou non d'un malaxeur associé au rotor de fraisage.
- **E** : maîtrise de l'Épaisseur de retraitement de la chaussée,
- **P** : Puissance disponible pour fragmenter l'ancienne chaussée,
- **I** : présence d'un dispositif d'Injection d'eau,
- **L** : injection du Liant liquide.

Ces critères de performances sont regroupés dans le tableau 8 sous les critères HEPIL, ils sont notés de 3 (valeur optimale) à 1 (valeur minimale).

3.6 - Compactage des matériaux retraités

On utilise des compacteurs à cylindre(s) lisse(s) vibrant(s) et des compacteurs à pneumatiques ou encore des compacteurs mixtes (cylindre + pneumatiques) que l'on fait travailler en réalisant plusieurs passes derrière la machine de fragmentation ou la machine multifonction.

Les conditions d'emploi des compacteurs pour les chantiers de retraitement sont définies pour un matériau de difficulté de compactage de la classe Dc 3. Le nombre de compacteurs nécessaires pour réaliser la densification du matériau est déterminé en fonction du débit des matériels de retraitement et du nombre de passes pour atteindre la qualité de compactage recherchée. Pour certains compacteurs bien identifiés, un CAFM (Certificat d'Aptitude Technique des Matériels routiers) donne directement les conditions d'emploi. Pour les autres compacteurs les conditions d'emploi sont déduites de l'annexe 1 du recueil des CAFM.

Critères		NOTE		
		3	2	1
H	Homogénéisation du matériau avec le ou les liants	Homogénéisation verticale + malaxage (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 ⁽¹⁾	Réglage et contrôle de l'épaisseur	Réglage de l'épaisseur
P	Puissance disponible par mètre linéaire de rotor de fraisage	> 70 kW	35 < P ≤ 70 kW	≤ 35 kW
I	Possibilité d'injecter l'eau dans la chambre de malaxage ou de fragmentation	Pompe à débit variable asservi à la translation et rampe de largeur variable	Pompe à débit variable asservi à la translation	pas d'asservissement
L	Dosage du liant liquide	Pompe à débit variable asservi à la vitesse de translation ou au poids de matériau retraité + débitmètre	Pompe à débit variable asservi à la vitesse de translation ou au poids de matériau à retraiter + compteur volumétrique	Pompe à débit variable non asservi

⁽¹⁾ La fonction de maintien à la profondeur du rotor de fraisage empêche la remontée de celui-ci en cas d'augmentation trop importante du couple de fraisage. La remontée du rotor ne peut se faire que manuellement par le conducteur.

Tableau 8 : Critères de qualification des matériels de retraitement.

Après réglage, le compactage est terminé par un compacteur à pneus associé à un compacteur vibrant.

La norme NF P 98-115 contient les prescriptions suivantes pour le compactage des chaussées :

- la qualité **q1**, spécifiée pour les **couches de liaison et de base** supportant un trafic supérieur à T3 et lorsque les matériaux retraités ont une granulométrie en dehors du fuseau et/ou une VBS $\geq 0,8$. Dans tous les cas, le niveau q1 reste souhaitable lorsqu'on est en qualité de retraitement R2. Pour ce faire, on utilisera des compacteurs vibrants de la classe V4 ou V5 et des compacteurs à pneus de la classe P2 (norme NF P 98-736).
- la qualité **q2**, admise pour les **couches de liaison et de base** supportant un trafic inférieur ou égal à T3 et les **couches de fondation**. On obtient ce niveau de qualité de compactage avec des matériels au minimum de la classe V3 et des compacteurs à pneus de la classe P2.

Par contre lorsque l'épaisseur à compacter est peu importante, on prendra la précaution d'utiliser des compacteurs vibrants de classe adaptée afin de ne pas fragmenter les matériaux au compactage.

3.7 - Matériels et niveaux de qualité du retraitement

Deux niveaux de qualité sont envisagés pour les chantiers de retraitement en place :

- le niveau R1 correspond aux meilleurs niveaux de qualité de retraitement et de performances mécaniques. Il est à retenir quand la classe de trafic concernée est supérieure à T3 et lorsque la couche retraitée est destinée à servir de liaison ou de base. Le niveau R1 reste souhaitable en couche de fondation.
- le niveau R2 conduit à des performances plus faibles. Il est admis lorsque le retraitement concerne des chaussées de trafic inférieur ou égal à T3 ou lorsque la couche retraitée est destinée à devenir une couche de fondation.

Le niveau de qualité de retraitement que le maître d'oeuvre peut imposer dans le cadre d'un appel d'offre ou accepter dans le cadre d'une variante est fixé dans le tableau 9. Il tient compte de la fonction de la nouvelle assise dans la chaussée (couches de fondation, de base ou de liaison) et du trafic.



Atelier de retraitement WIRTGEN.

Cas de chantier		Qualité	
Fonction de la couche retraitée	Classe de trafic	de retraitement	de compactage
Liaison ou base	T > T3	R1 (à retenir)	q1 (spécifiée)
Liaison ou base	T ≤ T3	R1 (à retenir)	q2 (admise)
		R2 (admise)	q1 (souhaitable)
Fondation	Tous trafics	R1 (souhaitable) R2 (admise)	q2

Tableau 9 : Choix du niveau de qualité de retraitement en fonction du cas de chantier.

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

Compactage : qualité q1 si $> T3$ ou q2 si $\leq T3$
 Emploi de compacteurs V5 ou V4 et P2
 (voir V3 suivant l'épaisseur compactée)

Accepté Accepté sous conditions Refusé

Tableau 10 : Matériels nécessaires pour obtenir : le niveau de qualité R1 du retraitement.

Les niveaux de qualité R du retraitement ne peuvent être atteints que si :

- l'étude préalable démontre que la qualité des matériaux disponibles dans l'ancienne chaussée permet d'obtenir le niveau requis (homogénéité, performances mécaniques...),
- les matériels envisagés ou proposés permettent d'atteindre l'objectif. Cette condition est satisfaite par les valeurs des coefficients HEPIL et LIV des matériaux telles que définies dans les tableaux 10 et 11.

3.8 - Rendement de l'atelier de retraitement

Le rendement de l'atelier de retraitement avec un liant composé dépend du matériau en place.

Ce rendement se situe entre 1000 et 3500 m³/jour.

Remarque

Pour les chaussées présentant des hétérogénéités transversales importantes et pour une classe de trafic supérieure à T3, un atelier de retraitement de coefficient HEPIL = 33333 doit être utilisé. En cas d'épandage de liant pulvérulent on pourra alors associer un épandeur dont les critères T et V sont de niveau 2 ou 1.

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

Compactage : qualité q2
 Emploi de compacteurs V3 ou V4 ou V5 et P2

Tableau 11 : Matériels nécessaires pour obtenir : le niveau de qualité R2 du retraitement.



Atelier de retraitement STABICOL (COLAS).

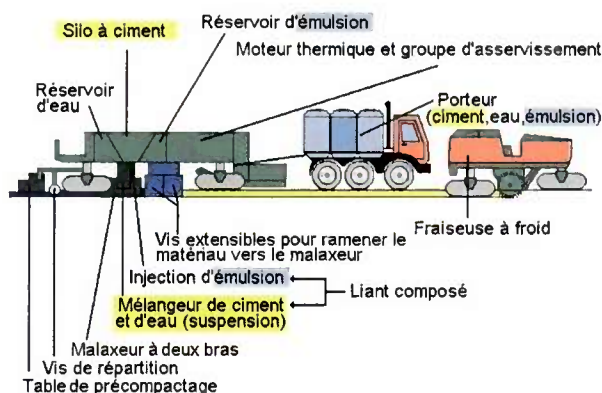
4 - Modalités d'exécution

Des travaux préparatoires peuvent être à envisager dans certains cas de chantiers. Rappelons principalement :

- les purges de chaussée, le drainage, l'assainissement,
- le reprofilage par apport de matériaux complémentaires ou par fraisage des parties saillantes de la chaussée,
- le délimitation des accotements,
- les élargissements de chaussée, pour les retraitements en agglomération, il est généralement nécessaire de réaliser un fraisage préalable pour résoudre le problème de seuil avec les ouvrages d'assainissement existants (caniveaux, etc...).

Pour les bouches à clé, tampons (etc...), il faut procéder à leurs repérages et enlèvements.

On couvre ensuite le puits restant, on comble la cavité en rapportant un matériau 0/D, on retraite en place sur l'épaisseur prévue, on ôte une partie des matériaux retraités afin de pouvoir reposer les ouvrages.



Descriptif CR 4500

Profondeur de fraisage	25 cm
Largueur de retraitement	3 m à 4,5 m
Puissance	182 KW
Poids	49 t

Schéma de fonctionnement d'un atelier de retraitement WIRTGEN CR 4500.

Le contrôle, à l'aide d'un ramis, permettra de s'assurer si le D du matériau fragmenté est de la dimension prévue.

Humidification

La teneur en eau des matériaux à retraiter peut avoir évolué par rapport à l'étude préalable. La teneur en eau est donc à vérifier impérativement en début de chantier pour ajuster l'éventuel complément d'eau par référence à l'étude.

Lorsqu'il y a ajout d'eau pour amener le matériau à sa teneur en eau optimale, l'incorporation se fait directement dans la chambre de fractionnement ou de malaxage.

Apport de liant

Lorsque le liant composé est prêt à l'emploi, il est incorporé dans la chambre de malaxage de la machine de retraitement.

4.1 - Fabrication des matériaux retraités

Le retraitement des matériaux aux liants composés est généralement organisé comme suit :

- fabrication des liants composés,
- fragmentation du matériau à retraiter (avec l'apport éventuel de matériaux correcteurs ou complémentaires),
- humidification si nécessaire,
- apport de liant composé au matériau fraisé,
- homogénéisation et/ou malaxage du matériau retraité.

Fabrication des liants composés

Les liants composés peuvent être fabriqués, soit :

- dans une usine, pour les liants prêts à l'emploi, par élaboration préalable dans une unité spécifique,
- sur place, par l'incorporation successive des deux constituants au moment du malaxage.

Fragmentation

Les outils du matériel de fragmentation doivent être dans un état d'usure le plus homogène possible.

La présence de plaques (ou autres agglomérats non fragmentés), dans le matériau nécessite de modifier les paramètres de fonctionnement de la machine et/ou de procéder à une élimination manuelle ou mécanique.

Lorsque le liant composé résulte de l'incorporation successive des deux constituants, ils sont généralement incorporés de la façon suivante :

- le liant hydraulique est épandu au sol, à l'aide d'un épandeur à liant pulvérulent, devant le rotor de la fraiseuse ou l'atelier de retraitement (la protection de l'environnement aux poussières de liant doit être assurée par des dispositifs appropriés sur le matériel, voire sur le liant lui-même),
- l'émulsion de bitume est incorporée directement dans la chambre de malaxage.

Homogénéisation

Pour l'homogénéisation du matériau retraité, on distingue deux types de matériels suivant leur mode de travail :

- les matériels assurant l'homogénéisation uniquement par un brassage du matériau dans le sens de l'épaisseur de la couche (fraiseuse, pulvérisateur),
- les matériels qui, après le brassage vertical par l'outil de fragmentation, assurent une homogénéisation transversale à l'aide d'un malaxeur (machine multifonction ou fraiseuse + malaxeur autoporté).

4.2 - Mise en oeuvre des matériaux retraités

La mise en oeuvre des matériaux retraités aux liants composés reprend principalement les points suivants :

- réglage,
- compactage,
- enduit de scellement,
- couche de roulement.

Réglage

Le réglage peut être assuré, soit par :

- un finisseur,
- une niveleuse,
- une table de réglage puis réglage à la niveleuse.

Compactage

Les modalités de compactage sont déterminées en fonction du débit du matériel de retraitement en considérant une classe DC3 de difficulté de compactage du mélange et le niveau de qualité q recherché.

Pour certains compacteurs bien identifiés, un CATM (Certificat d'Aptitude Technique des Matériels routiers) donne directement leurs conditions d'emploi.

Suivant les machines de retraitement et la configuration des chantiers, le compactage peut être réalisé en une seule fois ou en deux temps.

Lorsqu'il est réalisé en deux temps, dans le premier temps la bande retraitée est précompactée à raison de 1/3 à 2/3 de l'énergie totale de compactage, dans le deuxième temps le compactage final est mené de façon à atteindre la qualité de compactage spécifiée par le marché.

Compte tenu des épaisseurs compactées pour les retraitements aux liants composés, on utilise en général des compacteurs vibrants de classe V2 ou V3 pour les faibles épaisseurs et V4 ou V5 pour les fortes épaisseurs. Un compacteur à pneumatiques de classe P2 réalise le compactage final.

Enduit de scellement

En règle générale, c'est après le compactage qu'un enduit de cure et de scellement est réalisé sur le lot retraité à raison de 250 g/m² de bitume résiduel suivi de l'épandage d'un gravillon 4/6 ou 2/4 aussi faiblement dosé que possible (2 à 3 l/m² pourront être suffisants).

Couche de roulement

Suivant la teneur en émulsion du liant composé, l'application de la couche de roulement pourra se faire :

- dès le lendemain du retraitement lorsque la teneur en émulsion est $\leq 4\%$,
- jusqu'après plus d'une semaine de mûrissement lorsque la teneur en émulsion est $> 4\%$.

Si la couche de roulement n'est pas prévue dans l'entreprise, il est conseillé de réaliser un contrôle de l'uni à l'APL de la couche retraitée.

4.3 - Dispositions particulières

Pour les retraitements aux liants composés, il est important de rappeler quelques dispositions et précautions particulières.



Machine multifonctions Arc 700 (Appia).

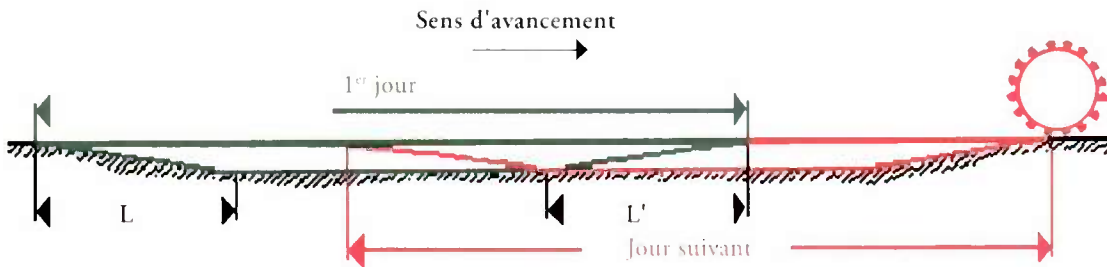
Dispositions générales et constructives

Rappel de quelques dispositions pour la bonne réalisation des fonds de fouille, joints et raccords :

- la totalité des matériaux fraisés doit être reprise par le malaxeur et retraitée aux liants composés,
- la superposition des joints de bandes longitudinales sera toujours supérieure à 5 cm,
- les raccords transversaux seront réalisés de façon à toujours assurer la continuité des épaisseurs retraitées (figure ci-après).

Conditions météorologiques

Les mélanges obtenus par retraitement aux liants composés sont plus ou moins sensibles aux conditions climatiques lors de leur mise en oeuvre et au jeune âge. Des variations de température et d'humidité peuvent influencer la maniabilité des mélanges et les performances mécaniques à moyen et long terme. La mise en oeuvre est arrêtée lorsque ces conditions climatiques sont susceptibles d'engendrer de tels désordres.



Légende : Distances de descente (L) et de remontée (L') dépendantes du matériel de retraitement.

Remarques concernant les élargissements

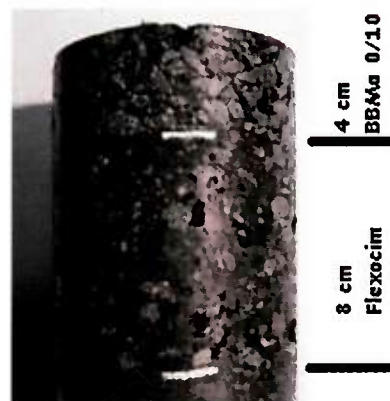
Lorsqu'il est demandé d'associer le retraitement de la chaussée à un élargissement de l'assise, les hypothèses de portance du support seront celles prévues pour les chaussées neuves et il faudra absolument procéder à une stabilisation par compactage préalable du sol.

Les élargissements en rives seront donc réalisés avant retraitement et avec une attention particulière en ce qui concerne :

- le compactage du fond de fouille,
- la pose éventuelle d'un dispositif anti-contaminant ou drainant si nécessaire,
- le choix des matériaux, dont la partie supérieure sera traitée aux liants composés (+ 5 cm) en même temps que le retraitement de l'ancienne chaussée,
- le compactage de ces matériaux en couches d'épaisseur compatible avec le matériel disponible.



Pose d'un enduit de scellement après retraitement.



Carotte de la chaussée après retraitement au liant composé et mise en oeuvre de la couche de roulement.

5 - Contrôles

Comme tous travaux de chaussées, la maîtrise de la qualité des retraitements en place de chaussée nécessite la réalisation de contrôles rappelés dans ce chapitre. N'y sont développés que les contrôles spécifiques ou particuliers au retraitement proprement dit.

5.1 - Avant les travaux

Dans un premier temps il convient de confirmer, si besoin est, les conclusions de l'étude préalable et de connaître le ou les matériaux d'apport nécessaires (matériau granulaire correcteur et/ou complémentaire, liant, etc...).

En second lieu il est nécessaire de réceptionner les matériels. Le SOPAQ doit contenir une présentation précise des caractéristiques techniques des matériels (HEPIII) et les grandes lignes des modalités d'exécution (organisation du chantier) pour une solution de base et la solution variante.

Quelle que soit la taille du chantier, la réception des matériels est une phase essentielle dans la démarche qualité.

Réception des matériels

Dans le cas d'un atelier de retraitement avec références, la réception est faite au vu de ces références et de la conformité de l'atelier aux propositions faites dans l'offre (SOPAQ). Pour des chantiers de plus de 50000 m² et dans le cadre d'une épreuve de convenance, un contrôle des organes de dosage des ajouts et la vérification des valeurs indiquées par des systèmes de contrôle continu sont justifiés.

Dans le cas d'un atelier de retraitement sans référence, constitué pour le chantier, la réception des matériels passe par :

- un examen détaillé des fiches techniques matériel,
- la vérification de leur conformité au SOPAQ,
- le contrôle des organes de dosage des ajouts, des outils de la fragmentation et des moyens de malaxage.

Les conditions de ces réceptions sont celles qui sont précisées dans l'exemple d'épreuve de convenance en annexe 2.

La réception des **matériels de compactage** est une étape importante. Il convient de vérifier que les matériels proposés sont adaptés (cf. Certificats

d'Aptitude Technique des Matériels : CATM) et que leurs fonctionnements et réglages sont conformes à leur classification pour réaliser le chantier.

5.2 - Pendant les travaux

Les contrôles se conçoivent d'une manière différente suivant la taille du chantier, la classe de retraitement et la qualité du retraitement (R1 ou R2). Pour tous les chantiers, les contrôles doivent porter sur les points particuliers tels que présentés dans le tableau 12. Pour les chantiers de plus de 50000 m², une planche de référence s'impose. A titre d'exemple, son contenu est détaillé en annexe 2.

5.3 - Après les travaux

Géométrie

Les épreuves de conformité géométrique sont définies par la norme NF P 98-115.

Uni

Si nécessaire, le contrôle de l'uni longitudinal est réalisé à l'aide de l'APL. Il peut s'avérer utile si la couche de roulement est réalisée dans le cadre d'un autre marché.

Homogénéité

Dans le cas d'un retraitement pour apport structurel sous la forme d'une nouvelle couche d'assise, il peut être utile de réaliser après 3 à 7 jours d'âge un contrôle d'homogénéité à l'aide de mesures de déflexion (NF P-98 2001 et 2002) dont le pas est inférieur à 10 mètres.

Pour chaque journée de retraitement, les valeurs des déflexions devront être homogènes. Les zones où la déflexion est supérieure au double de la valeur moyenne du jour seront déclarées non conformes.

Paramètres contrôlés	Nombre d'essais	Méthode de contrôle	Seuils et critères d'acceptation	
			R1	R2
Granulats correcteurs et/ou complémentaires		Dispositions habituelles : Le contrôle externe est défini dans le PAQ de l'entreprise. Le contrôle extérieur le complète.		
Fragmentation	1/lot	Tamis de 63 mm	99 % de passant	
Liant composé prêt à l'emploi		Contrôle comportant pour le moins les paramètres suivants : - identification des composants - respect des proportions - température		Application des dispositions prévues dans le PAQ de l'entreprise.
Liant composé par incorporations successives		. Emulsion : dispositions habituelles . Liant hydraulique : dispositions habituelles . Prélèvement conservatoire par porteur par l'entreprise pour le maître d'oeuvre.		
Teneur en eau du matériau avant traitement	1/jour	Teneur en eau	Voir compatibilité avec étude	
Vérification du fonctionnement des machines	Continu	Suivi des indicateurs de la ou des machines, teneur en liant, épaisseur, débit, état de l'interface	Valeurs fixées au début de chantier et suivant règles de l'art	
Dosage de liant liquide ou pulvérulent	Un dosage par porteur ou par épandeur	Dosage, consommation par rapport à la surface réalisée par pesée	± 10 % de la valeur Théorique	± 20 % de la valeur Théorique
Dosage du liant pulvérulent	5/chantier si $T \leq T3$ 10/chantier si $T > T3$	Dosage surfacique par prélèvement à la bêche	± 10 %	± 20 %
Teneur en eau mélange retraité	1/ jour	Teneur en eau	Tolérances de l'étude (PAQ)	
Granularité du mélange retraité	2/jour si $T > T3$ 1/jour si $T \leq T3$	Analyse granulométrique	Fuseau de l'étude (PAQ)	
Epaisseur après compactage	3/ jour si $T \leq T3$ 10/jour si $T > T3$	Mesure directe par sondage ou par mesure de nivellement	± 1 cm si $e \leq 10$ cm et si $e > 10$ cm ± 5 % en R1 ± 10 % en R2	
Contrôle du compactage	PAS DE SPÉCIFICITÉ Le contrôle est fondé sur l'utilisation des CATM en retenant la compacité fixée lors de l'étude de formulation (q1 ou q2). Les tolérances et les dispositions qui en résultent sont celles définies à l'article 8.3.5.1.2.3 de la norme NF P 98-115. Des contrôles par mesures de la masse volumique in situ sont envisageables si $D < 31,5$ mm.			

Tableau 12 : Plan de contrôle pour le retraitement.

Annexe 1

Prise en compte du trafic pour le dimensionnement de la structure

Définition du poids lourd

Le poids lourd est défini par la norme NF P 98-082 comme un véhicule dont le poids total en charge est au moins égal à 3,5 tonnes ($P_{TAC} \geq 35$ kN).

Cette définition diffère sensiblement de celle qui était prise en compte avant 1998 où le poids lourd était défini comme un véhicule dont la charge utile est au moins égale à 5 tonnes ($C_u \geq 50$ kN).

Il est admis que, dans les situations courantes, le passage du PL ($C_u \geq 50$ kN) au PL ($P_{TAC} \geq 35$ kN) est obtenu par un coefficient multiplicateur de 1,25.

Nombre PL ($P_{TAC} \geq 35$ kN) = 1,25 x nombre PL ($C_u \geq 50$ kN).

Calcul du nombre cumulé de poids lourds

Le dimensionnement d'une structure nécessite le calcul du nombre cumulé de poids lourds qu'elle devra supporter pendant sa durée de vie.

Pour calculer ce nombre cumulé N exprimé en nombre de poids lourds sur la voie la plus chargée, il est nécessaire de prendre des hypothèses concernant la durée de vie de la chaussée et la croissance du trafic :

$$N = 365.T.C$$

avec T : trafic poids lourds en Moyenne Journalière Annuelle (MJA) à la mise en service sur la voie la plus chargée.

$$C : (\text{facteur de cumul}) = d + \left(t.d. \frac{d-1}{2} \right)$$

avec d = durée de vie souhaitée pour la chaussée

t = taux de croissance linéaire annuel (croissance arithmétique)

(exemple : pour un taux de croissance de 5 %, $t = 0,05$)

Cette formule n'est valable que si la croissance du trafic se réduit à un seul taux. Si ce n'est pas le cas on se reportera au chapitre concerné (chapitre 2.3) de la notice d'utilisation du catalogue de structure de chaussées neuves 1998.

Le taux de croissance et durée de vie sont des hypothèses normalement fixées par le maître d'ouvrage.

Dans le catalogue de structures de chaussées neuves du réseau national, les hypothèses qui ont été prises sont une durée de vie de 30 ans avec une croissance linéaire (ou arithmétique) de 5 % pour le réseau structurant ; 20 ans et 2 % pour le réseau non structurant.

A défaut de données précises du maître d'ouvrage et compte tenu du domaine d'emploi de la technique, les hypothèses prises pour le réseau national non structurant seront généralement les mieux adaptées pour le dimensionnement des structures retraitées ($\tau = 0,02$ $d = 20$).

Calcul du nombre de sollicitations

Le nombre de poids lourds à considérer pour le dimensionnement est celui qui emprunte la voie la plus chargée de la chaussée. Il est donc nécessaire d'affecter le nombre de poids lourds d'un coefficient qui tient compte de la répartition des poids lourds entre les différentes voies de chaussée (cf. chapitre 2.2 de la notice d'utilisation du catalogue de structure de chaussées neuves 1998).

Dans le cas de chaussées bidirectionnelles par exemple, et pour tenir compte du recouvrement des bandes de roulement, on peut admettre la règle suivante : (cf. guide technique conception et dimensionnement des structures de chaussées)

Chaussée dont la largeur est supérieur à 6 m
⇒ 50 % du trafic total P_L des deux sens.

Chaussée dont la largeur est comprise entre 5 et 6 m
⇒ 75 % du trafic total P_L des deux sens.

Chaussée dont la largeur est inférieure à 5 m
⇒ 100 % du trafic total P_L des deux sens.

Le dimensionnement d'une structure de chaussée se fait en réalité à partir d'un nombre de sollicitations exprimé en nombre d'essieux équivalent N_E (essieu isolé de 130 kN en France). On transforme le nombre de P_L en nombre d'essieux équivalents par la relation $N_E = \text{Nombre de } P_L \times \text{CAM}$.

CAM est un coefficient d'agressivité structurelle moyen qui dépend du type de voie (spectre des P_L) et de la structure (cf. chapitre 4.3 des hypothèses et données de calcul du catalogue de structure de chaussées neuves 1998).

N.B.

Les différentes classes de trafic exprimé en MJA pour la définition de la couche de roulement sont bornées par le même nombre de PL malgré le changement de définition du PL car les CAM, revus à la baisse, en tiennent compte.

Tableau de correspondance

Le changement de définition du poids lourd dans la norme NF P 98-082 et les entrées exprimées en trafic cumulé du catalogue de structure 1998 ne simplifient pas la manière d'appréhender le trafic.

Pour aider le maître d'œuvre ou le concepteur à situer son projet de retraitement en place par rapport aux différents référentiels techniques, nous avons établi un tableau de correspondance entre le trafic PL exprimé en MJA au moment de la mise en service et le trafic cumulé nécessaire au dimensionnement en prenant comme hypothèse un taux de croissance de 2 % ($r = 0,02$) et une durée de vie de 20 ans ($d = 20$).

Classe de trafic	T5	T4	T3-	T3+	Supérieur à T3+	
Nombre de poids lourds par jour et par sens au moment de la mise en service	0	25	50	85	150	Trafics forts et moyens justifiant une appréhension précise du trafic pour une étude de dimensionnement.
Nombre cumulé de poids lourds ($r = 0,02$ $d = 20$)	0	$0,22 \cdot 10^6$	$0,43 \cdot 10^6$	$0,74 \cdot 10^6$	$1,3 \cdot 10^6$	

Annexe 2

Contenu d'une épreuve de convenance

Pour les chantiers de plus de 50000 m² et ateliers de retraitement sans références, quelle que soit la surface

L'épreuve de convenance est réalisée dans le cadre du contrôle extérieur pour les chantiers de plus de 50000 m² et quelle que soit la surface pour les ateliers de retraitement sans références. Pratiquement, elle se réalise dans les conditions normales de travail prévues pour le chantier et doit correspondre au moins à une demi-journée de travail.

Reception des matériels

Il s'agit de l'ensemble des matériels des ateliers nécessaires au retraitement et à la mise en œuvre.

- Conformité des matériels par rapport au CCTP et SOPAQ et/ou avis techniques et/ou fiches techniques des constructeurs et/ou certificats d'aptitude technique et/ou PAQ.
- Pour les matériels de retraitement : état des outils, fonctionnement des systèmes de dosage et de contrôle des ajouts liquides...
- Pour les compacteurs : vérification des caractéristiques de fonctionnement (vibration, amplitude, fréquence, charge par roue...) pour confirmer leur classe.

Modalités d'exécution du retraitement

L'épreuve de convenance est réalisée suivant le plan de contrôle précisé dans le tableau 1.

Modalités d'exécution de la mise en œuvre (réglage, compactage)

L'épreuve de convenance concernant la mise en œuvre est la même que pour un chantier classique (cf. article III.6.3 du fascicule 25 du CCTG).

L'épreuve de convenance doit conduire, en particulier, à la validation des modalités de compactage en déterminant le nombre d'engins en fonctionnement, le plan de balayage (planche d'essais) permettant d'atteindre l'objectif de compacité (planche de référence)

N.B.

L'épreuve de convenance peut être considérée comme un lot de production et faire l'objet des contrôles tels que définis dans le tableau 12 de ce livret.

Paramètre contrôlé	Essai	Critère d'essai	Critère d'acceptation
Humidification Ajout d'eau	Vérification des indicateurs débits et asservissements de la machine	Continu	± 10 % par rapport débit théorique
Ajout de liant pulvérulent	Dosage surfacique à la bêche (par référence à l'étude de formulation)	Minimum 20 essais (10 si l'épandeur fait l'objet d'un avis technique)	(En valeur relative, cette valeur incluant la correction due au coefficient de variation propre au matériel utilisé) R1 : ± 10 % R2 : ± 25 %
Ajout de liant liquide	Vérification des débits et asservissements. Contrôle de distribution dans la chambre.	Contrôles dans les conditions de fonctionnement du chantier	(en valeur relative) ± 5 % par rapport au débit théorique
Epaisseur	Vérification par sondage manuel avant et après compactage.	Minimum 10 contrôles.	Après compactage ± 1 cm si e ≤ 10 : et si e > 10 : en R1 ± 2 cm en R2 ± 3 cm

Tableau 1 : Plan de contrôle d'une épreuve de convenance.

Page laissée blanche intentionnellement

Ce guide technique sur le "Retraitement en place à froid des anciennes chaussées" a été rédigé, dans le cadre des activités du comité sectoriel "méthodologie" du Comité français pour les techniques routières (CFTR), sous la coordination d'Alain Destombes (LROP) et Maurice Lefort (LROP) par un groupe de travail constitué de représentants du réseau scientifique et technique du ministère de l'Équipement, des Transports, du Logement, du Tourisme et de la Mer, des directions techniques des entreprises et des producteurs dans le domaine routier :

Joseph Abdo (CIMBETON), Jean Bauer (LRPC Rouen), Jean-Pierre Benaben (LRPC Toulouse), Michel Bertaud (SCREG Sud Ouest), Didier Bourdrel (Laboratoire Central APPIA), Paul Exbrayat (Laboratoire APPIA Lyon), David Gaillard (Setra), Rolf Kobisch (LRPC St. Brieuc), Jean-François Lafon (LRPC Toulouse), Jean-Paul Michaut (COLAS), Hughes Odéon (LRPC Strasbourg), Gaétana Quaranta (LCPC Nantes), Samir Soliman (EJL), Didier Thouret (COLAS Sud Ouest), Jean-Claude Valeux (LRPC Rouen), Daniel Vincent (LRPC Strasbourg).

Ce guide technique est composé de quatre parties :

- **présentation générale** commune aux différentes techniques de retraitement en place à froid des anciennes chaussées,
- livret I : retraitement avec **un liant hydrocarboné**,
- livret II : retraitement avec **un liant hydraulique**,
- livret III : retraitement avec **un liant composé**.

L'ingénieur ou le technicien trouvera, dans chacun de ces 3 livrets, les informations nécessaires et les éléments techniques tels qu'ils peuvent être présentés en l'état actuel des connaissances pour concevoir un projet, réaliser une étude ou exécuter des travaux.

Document disponible au bureau de vente du Setra
46 avenue Aristide Briand - BP 100 - 92225 Bagneux Cedex - France
téléphone : 33 (0)1 46 11 31 53 - télécopie : 33 (0)1 46 11 33 55
Référence : **D0309** - Prix de vente : **14 €**

