

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

Maurice LEFORT
Assistant
Chef du groupe Chaussées
Laboratoire régional des Ponts et Chaussées
de l'Ouest parisien

Présentation

Jean GIROUY
IDTPE

Chef de la division Méthodes et matériels de construction
et d'entretien des routes
Laboratoire central des Ponts et Chaussées

RÉSUMÉ

Le retraitement en place des anciennes chaussées est une technique ancienne puisque le Retread Process date des années 1950. Cette technique a largement évolué du fait du développement des matériels utilisés et des enseignements tirés des différentes réalisations.

Cet article fait le point des techniques de retraitement à froid des anciennes chaussées en en faisant l'historique, en développant leur principe, en présentant les réalisations et en proposant une classification des retraitements, soit à l'émulsion de bitume, soit avec un liant hydraulique.

Cet article présente la technique sous trois aspects majeurs :

- ❶ la méthodologie des études préalables indispensables : depuis le diagnostic d'état de l'ancienne chaussée, le prélèvement et jusqu'à l'étude de formulation,
- ❷ la caractérisation des matériels de retraitement (épandeurs et malaxeurs) à travers les coefficients LTV et HEPI,
- ❸ la manière de concevoir et de mettre au point un projet de retraitement de chaussée en abordant le sujet sous l'angle du niveau de qualité de retraitement souhaité et en proposant une méthode pour vérifier la validité de la nouvelle structure.

MOTS CLÉS : 52-61 - Retraitement en place à froid - Chaussée (corps de) - Historique - Classification - Émulsion - Bitume - Liant - Hydraulique - Méthodologie - Matériel - Malaxeur - Répandage.

Cet article, rédigé par M. Lefort, participe à l'effort entrepris depuis quelques années pour mieux faire connaître une technique encore inégalement exploitée en France. Les procédés de recyclage des matériaux de chaussées apportent cependant de bonnes réponses aux difficultés causées par la raréfaction des ressources naturelles et par l'impossibilité prochaine d'envoyer des déchets « non ultimes » à la décharge.

Ces premiers documents de synthèse tirent parti des nombreuses études existantes. Ils visent à familiariser le lecteur avec les techniques de retraitement en place à froid en lui donnant des informations pratiques sur le choix et la mise au point des solutions, dans un souci de cohérence avec les guides et normes de conception et de réalisation des chaussées.

Cet article appelle des retours d'informations et d'enseignements du terrain, notamment pour compléter le recueil des caractéristiques observées en place après traitement. Cette collecte a déjà été annoncée au cours des Journées techniques Chaussées de janvier 1997.

Les quatre parties de l'article intéressent projeteurs et responsables de travaux :

- ❶ historique, principe et classification des techniques de retraitement en place ;
- ❷ études préalables et choix de la solution ;
- ❸ les matériels d'épandage et de malaxage ;
- ❹ mise au point du projet et dimensionnement.

L'aspect séduisant de certains procédés, appliqués avec du matériel de plus en plus performant, ne doit pas faire perdre de vue quelques conseils élémentaires, en particulier :

➤ *L'option pour le retraitement en place ne dispensera pas d'une réflexion globale sur l'état de la chaussée existante et sur les conditions de son fonctionnement dans son environnement. Il faudra toujours trouver le mal qui l'affaiblit et, si tel en est le besoin, décider de travaux préparatoires annexes (assainissement, par exemple) plusieurs mois avant le chantier principal.*

➤ *On ne fera jamais l'économie d'une étude préalable sérieuse, qui permettra de prédire les performances des matériaux, d'adapter le dimensionnement et de choisir le type de retraitement adéquat. Toute improvisation au moment de l'appel d'offres est à exclure ; un délai minimal de réflexion reste nécessaire.*

➤ *On exigera constamment une organisation rigoureuse des chantiers avec vérification des hypothèses d'étude en cours d'exécution et respect des prescriptions correspondantes, quel que soit le degré d'industrialisation de l'atelier.*

C'est à ce prix que le retraitement sera considéré comme une technique maîtrisée.

La synthèse établie par M. Lefort est appelée à évoluer et à s'enrichir des expériences que les lecteurs voudront bien « faire remonter ». Elle fournira ainsi une base précieuse pour la constitution d'un véritable guide.

Dans tous les cas, on se référera au guide technique de conception des chaussées, au fascicule 25 du Cahier des clauses techniques générales (CCTG) et aux différentes normes applicables aux matériaux traités, à l'exécution des corps de chaussées et au matériel. On pourra se reporter utilement aux notes et articles cités dans les références bibliographiques et au guide technique « Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques », à paraître.

Introduction

Le retraitement en place est une forme de recyclage. Sa particularité est de réemployer les matériaux sans les déplacer, dans un ouvrage destiné au même usage et bien souvent dans la même partie de cet ouvrage.

Cet article fait le point sur l'état de la technique. Il aborde le retraitement en place des anciennes chaussées et ne considère que les techniques de retraitement à froid, c'est-à-dire apport d'un liant hydraulique ou d'un liant hydrocarboné froid (émulsion ou mousse de bitume). L'apport d'un liant mixte (liant hydraulique + bitume) ne sera qu'évoqué, car son développement en est au stade des techniques innovantes.

Ne sont pas traitées les techniques de retraitement à chaud *in situ* (thermoreprofilage, thermorégénération ou thermorecyclage). Ne sont pas abordées non plus les techniques de recyclage en installations fixes des produits de démolition totale ou partielle des chaussées (recyclage en centrale d'enrobage de fraisats d'enrobés ; élaboration de granulats recyclés dans une installation de concassage criblage, etc.).

Les différentes possibilités de recyclage des matériaux d'anciennes chaussées (à réhabiliter ou à reconstruire) sont schématisées sur la figure 1, qui fait apparaître le domaine du retraitement en place à froid.

Dans tous les cas, le choix d'une technique de recyclage ne peut être fait sans une étude sérieuse du site.

Les techniques de retraitement

Historique [1] et [2]

Le retraitement des anciennes chaussées n'est pas une technique nouvelle.

Le Retread Process, dans les années 1950, correspondait à un tel recyclage des anciennes chaussées par traitement à l'émulsion de bitume ou au ciment.

Dans les années 1960 apparaissent des « stabilisatrices » spécifiques pour remettre en état des chaussées très dégradées après l'hiver rigoureux 1962/1963.

Les années 1980 et 1990 voient se développer des matériels de traitement en place performants qui permettent de réactiver cette technique de retraitement des anciennes chaussées avec des machines spécialement étudiées pour cet objectif.

Aujourd'hui, les techniques de retraitement en place n'ont probablement pas le développement que l'on pourrait en attendre compte tenu de l'évolution sensible des techniques et des matériels et de l'intérêt qu'elles présentent vis-à-vis des exigences d'environnement (comme, par exemple, la préservation des ressources grâce à une valorisation optimale des produits de l'ancienne chaussée).

On a pu constater un développement intéressant du nombre d'anciennes chaussées retraitées jusqu'en 1992, mais on note maintenant une régression qui marginalise la technique en France, alors que d'autres pays la développent et la généralisent.

Principe du retraitement en place [3]

Le retraitement en place est le cumul de trois actions qui, dans le cas d'une construction classique de chaussée neuve, avec des matériaux d'apport, sont faites indépendamment et dans des unités professionnelles différentes.

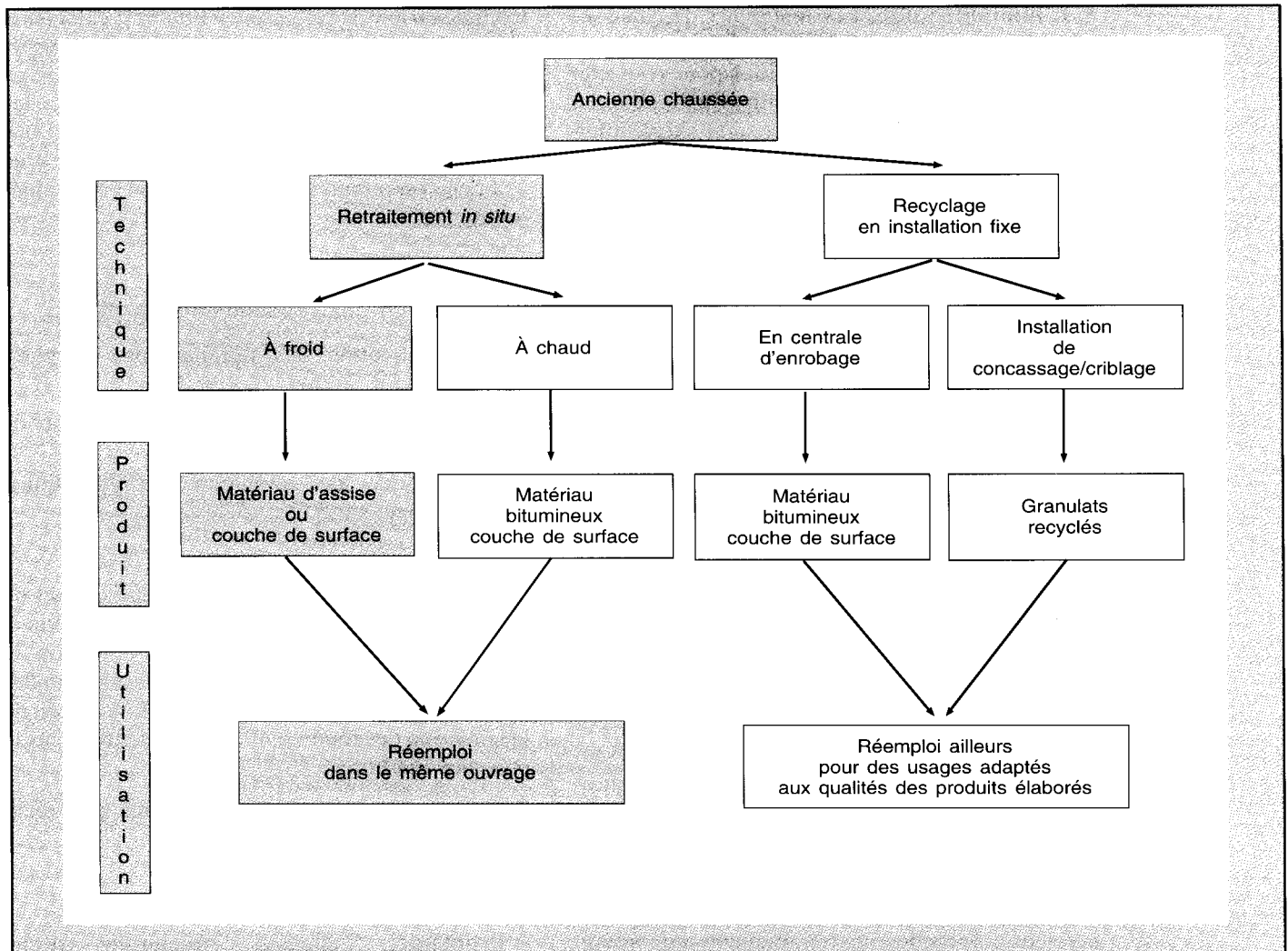


Fig. 1 - Les possibilités de recyclage d'une ancienne chaussée.

Ces trois actions sont l'exploitation d'un gisement avec production de granulats, l'élaboration d'un matériau traité par mélange et sa mise en œuvre.

L'exploitation d'un gisement

L'ancienne chaussée doit être considérée comme un gisement à exploiter, après une reconnaissance sérieuse. Tout ou partie de l'ancienne chaussée constitue donc la source de granulats.

La machine de retraitement va décohesionner ou fraiser les couches de l'ancienne chaussée pour élaborer (avec les produits éventuellement apportés au préalable et en complément) un matériau 0/D dont le D est égal à 25 ou 30 mm suivant la classe ou la technique de retraitement.

L'apport de matériau complémentaire peut être justifié, soit par le besoin d'une correction des caractéristiques granulométriques des granulats disponibles, soit plus généralement pour assurer une amélioration du profil en long ou du profil en travers de l'ancienne chaussée.

Cette reprise de la géométrie de la surface, qui va devenir le chemin de roulement de la machine, est

souvent indispensable pour respecter les épaisseurs de la nouvelle assise. Pour cette raison, sur chaussée déformée, un retraitement de qualité ne peut être conçu sans prévoir cet apport de matériaux complémentaire pour un reprofilage préalable. Une autre méthode consiste à réaliser un premier décohesionnement de la chaussée, de manière à la reprofiler sans matériau d'apport. Cela n'est possible que si l'épaisseur de matériaux disponibles à retraiter est suffisante.

La fabrication d'un matériau traité

La machine de retraitement est assimilée à une centrale de malaxage, qui assure le mélange du matériau 0/D avec le liant apporté et avec l'eau qui est injectée pour amener l'ensemble aux conditions optimales de compactage.

• Le liant. On peut utiliser :

- une émulsion de bitume régénérant ou non,
- une mousse de bitume,
- un liant hydraulique (ciment, liant routier, laitier, etc.),
- un liant mixte ou autre.

• **L'humidification.** Les matériaux de chaussée sont toujours relativement secs. Il est généralement nécessaire de les humidifier pour respecter les conditions de prise du liant hydraulique, pour permettre une meilleure « dispersion » de l'émulsion de bitume ou pour amener l'ensemble aux conditions optimales de compactage. Cette phase est souvent intégrée à l'opération de décohesion ou de fraisage ; elle peut également intervenir avant l'apport de liant ou pendant le malaxage.

• **Le malaxage.** L'opération de malaxage peut être groupée avec les précédentes ou séparée. Le liant hydraulique est généralement répandu sur la chaussée avant le passage de la machine ; lorsque le liant est sous forme liquide, il est souvent injecté dans la « cloche » du rotor de malaxage.

La diversité du parc de matériel permet de s'adapter aux différentes situations et de satisfaire aux exigences de qualité de mélange et d'homogénéité nécessaires à l'obtention des performances requises pour la nouvelle couche.

La mise en œuvre

Le réglage, le réglage et le compactage sont réalisés d'une manière tout à fait classique, sauf que, le travail préalable de la machine de retraitement se faisant par bandes, l'organisation des ateliers doit s'y adapter.

Le réglage est parfois assuré par la machine de retraitement ; le réglage est alors réalisé à la niveleuse. L'atelier de retraitement qui prévoit une mise en œuvre au finisseur (retraitement à l'émulsion) comprend un dispositif de relèvement de cordon.

Le compactage est une opération particulièrement délicate surtout lorsque le retraitement est en forte épaisseur, car les caractéristiques géotechniques et la teneur en eau des mélanges ne sont pas toujours optimales pour le compactage.

La mise en œuvre se termine par la réalisation d'une couche de protection, qui précède la couche de roulement.

L'attention doit être attirée sur l'intérêt de la protection de la nouvelle assise obtenue par retraitement ; ceci est nécessaire pour assurer une bonne cure, une protection efficace contre les intempéries et pour améliorer la cohésion de surface. Une protection de qualité peut permettre également de différer la mise en œuvre de la couche de roulement.

Au sujet de la couche de roulement, on a toujours intérêt à la réaliser le plus tard possible, qu'il s'agisse d'un enduit ou d'un enrobé. Ce laps de temps favorise le « mûrissement » du produit retraité à l'émulsion de bitume et donne le temps d'effectuer une réception significative de la nouvelle assise par mesure de déflexion.

Comme on le verra ci-après (« Études préalables et choix de la solution ») et schématisé sur la figure 3, la décision de lancer un chantier de retraitement, doit obligatoirement être précédée d'une étude du site et du gisement, ainsi que d'une appréciation des travaux préparatoires et d'un examen comparatif avec des solutions classiques de travaux.

Classification des retraitements en place

Une classification des retraitements en place peut être établie selon :

- le type de problème rencontré (problème de surface ou défaut structurel),
- la technique de retraitement (hydraulique, hydrocarboné, etc.),
- l'objectif recherché.

Nous distinguerons à partir de là quatre classes de retraitement. Une cinquième pourrait être ajoutée, qui fait appel au liant mixte ciment-émulsion de bitume, mais elle est encore en cours d'expérimentation dans le cadre de la charte de l'Innovation de la Direction des routes et n'est pas intégrée dans la présente synthèse.

Les quatre classes présentées ci-après sont récapitulées dans le tableau I.

Retraitement de classe I

• **Problème.** Faiblesse structurelle d'une chaussée à faible trafic avec une couverture bitumineuse très peu épaisse ; chaussée fatiguée mais ne souffrant pas d'un sous-dimensionnement d'origine.

• **Technique.** Retraitement à l'émulsion ou à la mousse de bitume.

• **Objectif.** Renforcement structurel sans apport autre qu'une couche de roulement en faible épaisseur (enduit ou BBTM).

Le cas type est celui d'une chaussée à faible trafic devenue insuffisante dont l'assise, en matériau traité ou non, est recouverte d'enduits successifs qui forment une couverture bitumineuse de 3 à 4 cm d'épaisseur ou moins et dont le sol support ne présente pas de faiblesse particulière de la portance.

Le retraitement n'est envisageable qu'après vérification de la qualité des granulats à recycler et si les matériaux en place sont valorisables par ajout de bitume.

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 ou un enrobé mince.

TABLEAU I
Classification des retraitements

Nature du recyclage Caractéristiques	Retraitement à l'émulsion de bitume			Retraitement avec un liant hydraulique
	Classe I	Classe II	Classe III	Classe IV
Liant	Émulsion de bitume mou 180/220 ou 80/100.	Émulsion de bitume mou ou de bitume régénérant.	Émulsion de bitume régénérant.	Ciment, ou liant routier, laitier granulé, mélange liant hydraulique + sable.
Matériaux recyclés de l'ancienne chaussée	3 à 4 cm de couverture bitumineuse + assise traitée ou non.	4 à 8 cm de couverture bitumineuse + assise mais au moins 75 % de noir.	Uniquement des matériaux bitumineux en intégrant l'interface.	Tout ou partie de la couverture bitumineuse. Tout ou partie des assises. Éventuellement partie du support.
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 hydraulique : - avec ou sans matériau d'apport, - avec ou sans élargissement, - avec ou sans atteinte de sol support, - avec ou sans enlèvement des couches de surface.
Objectif	Renforcement structurel trafic faible	Réhabilitation des couches de surface		Renforcement structurel épais avec ou sans élargissement
Épaisseur de la couche retraitée	10 à 15 cm	5 à 12 cm	7 à 12 cm	20 à 35 cm

Retraitement de classe II

- **Problème.** Insuffisance des performances des couches supérieures comprenant une couverture bitumineuse d'épaisseur moyenne (4 à 8 cm) avec une bonne homogénéité et/ou problème d'interface.
- **Technique.** Retraitement à l'émulsion de bitume éventuellement régénérant.
- **Objectif.** Réhabilitation de couches de surface peu épaisses ou correction d'interface.

Par rapport à la classe précédente, on est en présence d'anciennes chaussées plus homogènes, avec davantage de couverture bitumineuse justifiant une éventuelle amélioration des caractéristiques résiduelles du bitume recyclé. L'épaisseur de la couche retraitée, qui peut aller de 5 à 12 cm voire plus, comporte au moins 75 % de produits noirs.

Le cas type est une chaussée souple ou semi-rigide avec 4 à 8 cm de couverture bitumineuse présentant un décollement de l'interface avec la couche de base.

Le liant employé est une émulsion de bitume mou routier 180/210 ou de bitume régénérant.

Comme dans le cas précédent, la nouvelle assise est recouverte suivant le trafic par un enduit ou un enrobé mince.

Retraitement de classe III

- **Problème.** Insuffisance des caractéristiques mécaniques ou mauvais comportement des couches de surface exclusivement bitumineuses (fatigue, fissures, décollement).
- **Technique.** Retraitement à l'émulsion de bitume à effet régénérant.
- **Objectif.** Réhabilitation de couches de surface épaisses.

Dans cette classe, tous les matériaux recyclés sont hydrocarbonés. Le cas type est une chaussée bien structurée avec des matériaux homogènes et parfaitement définis en composition et caractéristiques.

En principe, il n'y a pas de problème pour trouver une formule de retraitement avec comme liant une émulsion à base de bitume à effet régénérant.

L'épaisseur de retraitement (entre 7 et 12 cm) est toujours supérieure de quelques centimètres à l'épaisseur de la ou des couche(s) de surface ancienne(s) à recycler, de manière à traiter les problèmes de l'interface.

Cette classe vise les mêmes objectifs que le thermo-recyclage. Elle permet d'obtenir une nouvelle couche de liaison, qui appelle une couche de roulement adaptée au trafic (enduits, BBUM ou BBTM).

Retraitement de classe IV

- **Problème.** Insuffisance structurelle de la chaussée avec éventuellement élargissement de l'assise.
- **Technique.** Retraitement avec un liant hydraulique ou mixte.
- **Objectif.** Reconstruction de l'assise pour recevoir une nouvelle couche de roulement ou couche de base.

Dans cette classe, le retraitement se fait avec ajout d'un liant hydraulique ; la profondeur de retraitement est fonction de l'épaisseur de l'ancienne chaussée valorisable ainsi que de la capacité de la machine utilisée.

En général, on retraite sur 20 à 35 cm d'épaisseur. Le liant est, la plupart du temps, répandu sous forme pulvérulente devant la machine, mais on peut également l'y disposer sous la forme d'un mélange élaboré en centrale de malaxage avec un sable complémentaire ou un matériau correcteur ou sous forme liquide.

Remarques concernant la géométrie du retraitement dans le profil en travers

La figure 2 représente des profils en travers types.

Pour les classes I, II, III, le retraitement concerne toujours toute la largeur de l'ancienne chaussée.

Pour la classe IV, l'étude de réhabilitation de l'ancienne chaussée autorise parfois à conserver la partie centrale en l'état. Dans ce cas, le retraitement avec le liant hydraulique ne concerne que les rives, en intégrant l'éventuel élargissement de chaussée et en concernant parfois les accotements pour les stabiliser. Dans cette dernière hypothèse, les élargissements en rives seront réalisés avant retraitement 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 en même temps que le retraitement de l'ancienne chaussée,
- le compactage de ces matériaux en couches successives d'épaisseur compatible avec leur nature, leur état et les moyens disponibles.

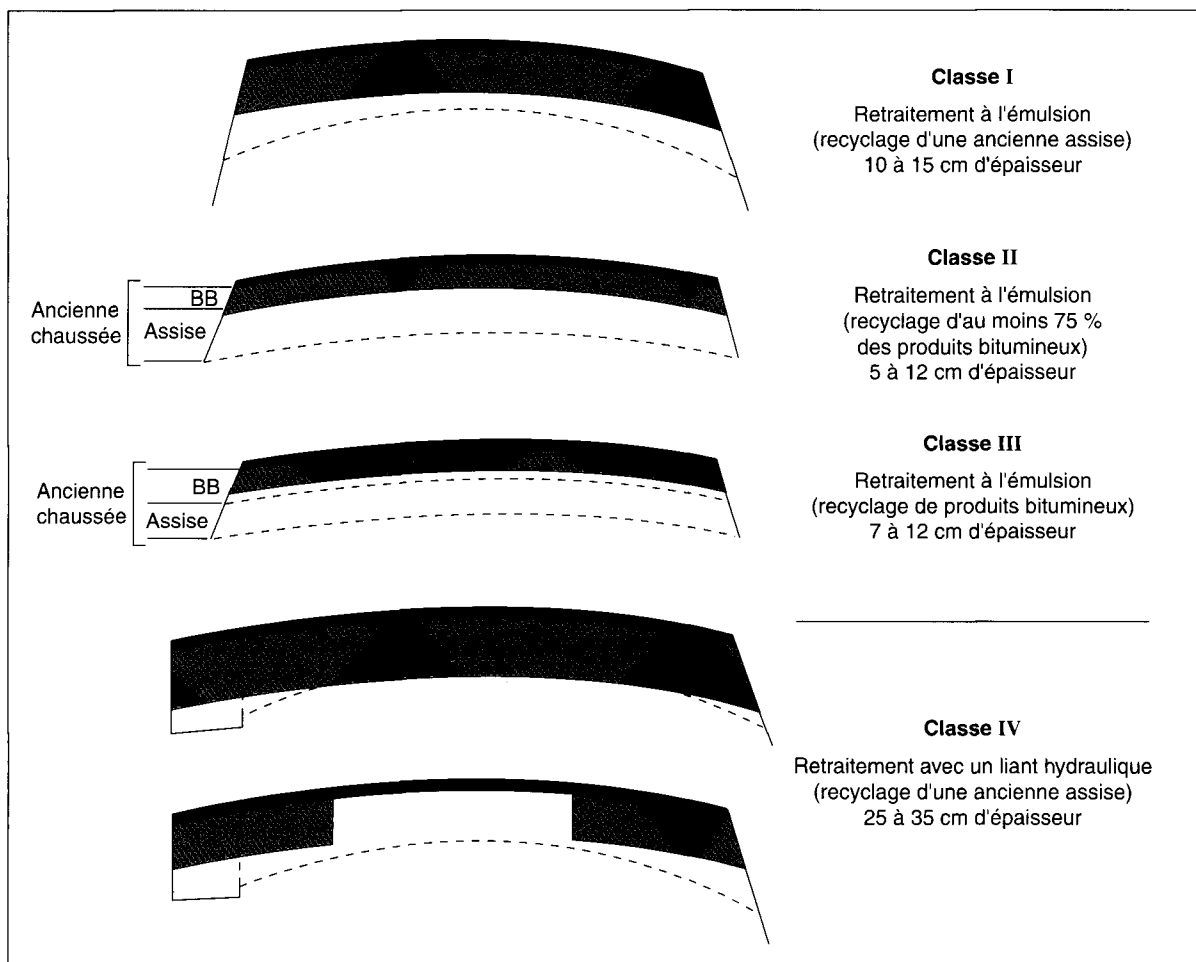


Fig. 2 - Géométrie des retraitements dans le profil en travers.

Études préalables et choix de la solution

Place du retraitement dans les études de réhabilitation

Si les renseignements que l'on peut tirer d'une banque de données routières permettent de définir des travaux d'entretien, ils ne suffisent généralement pas pour dimensionner un projet de renforcement.

Il faut d'abord vérifier si une technique de retraitement en place à froid est envisageable. Elle ne l'est pas, par exemple, en présence de pavés ou de structures de béton ou de matériaux trop gros ($D > 60$ mm), qui constituent des obstacles pour le passage des machines de retraitement.

Dans tous les cas, des études spécifiques sont indispensables pour établir la faisabilité et répondre aux questions essentielles suivantes :

- géométrie du « gisement » exploitable,
- nature des travaux d'accompagnement inévitables pour replacer la chaussée dans des conditions correctes de fonctionnement,
- caractérisation des matériaux en place et évolution prévisible par le traitement,
- épaisseur approchée du traitement envisagé compte tenu des observations et de l'objectif recherché,
- formulation du matériau retraité.

Les réponses fourniront les éléments techniques pour le choix d'une solution de retraitement en place, qui ne sera éventuellement retenue qu'après étude économique et comparative comme indiqué sur la figure 3.

Les travaux d'accompagnement (purgés, drainage, reprofilages, etc.) font appel à des techniques classiques qui ne sont pas reprises ici.

La reconnaissance du gisement, la caractérisation des matériaux et les études de formulation sont traitées ci-après.

Le choix de la technique étant fait et les performances à attendre des matériaux recyclés étant déterminées, il restera à vérifier le dimensionnement (cf. ci-après « Mise au point du projet »).

L'étude de retraitement

Il est conseillé au maître d'œuvre d'étudier le retraitement en solution de base en exigeant une réponse sur cette solution même quand l'entreprise propose des variantes.

Prélèvements d'échantillons

Dans le cadre d'une étude classique d'entretien ou de renforcement, la reconnaissance de la structure de chaussée est faite par carottages ou sondages en raisonnant par sections homogènes.

Pour l'étude de retraitement, il est nécessaire de pouvoir établir un véritable profil en travers de la structure de l'ancienne chaussée.

Dans les cas de retraitement de classe III et parfois II, quand l'objectif principal est de régénérer le liant bitumineux, le prélèvement par carottage des couches de surface est suffisant.

Par contre, pour les retraitements de classes I et IV, dont l'objectif est de recréer une assise résistante à partir d'une structure défailante, il est indispensable de réaliser des sondages permettant des prélèvements conséquents et représentatifs du corps de la chaussée ancienne : l'identification des différentes couches en nature et en épaisseur, leur homogénéité transversale, sont des éléments à connaître. Pour cela, les meilleures indications sont obtenues avec des sondages sous forme d'une petite tranchée transversale implantée sur la demi-voie de droite de la route ; intégrant la limite chaussée-accotement et atteignant le sol support.

Pour balayer les profils en long et en travers de la chaussée, le nombre de sondages, pour une section supposée homogène, peut être le suivant :

- un tous les 100 m pour un retraitement de classe I,
- un tous les 200 m pour le cas des classes II et IV,
- un tous les 400 m pour le cas de la classe III.

Ce nombre de sondages est indicatif et il ne faut surtout pas hésiter à resserrer la maille si, au cours des sondages, des hétérogénéités ou des zones douteuses apparaissent.

Caractéristiques des matériaux à recycler

Les prélèvements d'échantillons sont analysés en laboratoire afin de définir :

- la nature et l'état hydrique du support,
- la nature des matériaux valorisables c'est-à-dire leur granularité, leur D (vérification nécessaire pour les matériels), leur propreté, leur dureté, la qualité et le pourcentage des fines, la présence de matières organiques,
- l'homogénéité des matériaux disponibles : homogénéité dans la qualité des matériaux et dans la régularité des épaisseurs des couches.

Pour les retraitements de classes II et III, il convient essentiellement de s'interroger sur la qualité et la quantité de bitume récupérable et notamment sur :

- la teneur en liant résiduel,
- les caractéristiques de ce liant, c'est-à-dire sa dureté (il ne doit pas être excessivement dur, pénétrabilité > 15 sans être inférieure à 10), sa température bille-anneau (TBA moyenne < 75 °C sans dépasser 80 °C), éventuellement on peut envisager de déterminer la teneur en asphaltènes et la viscosité à 60 °C.

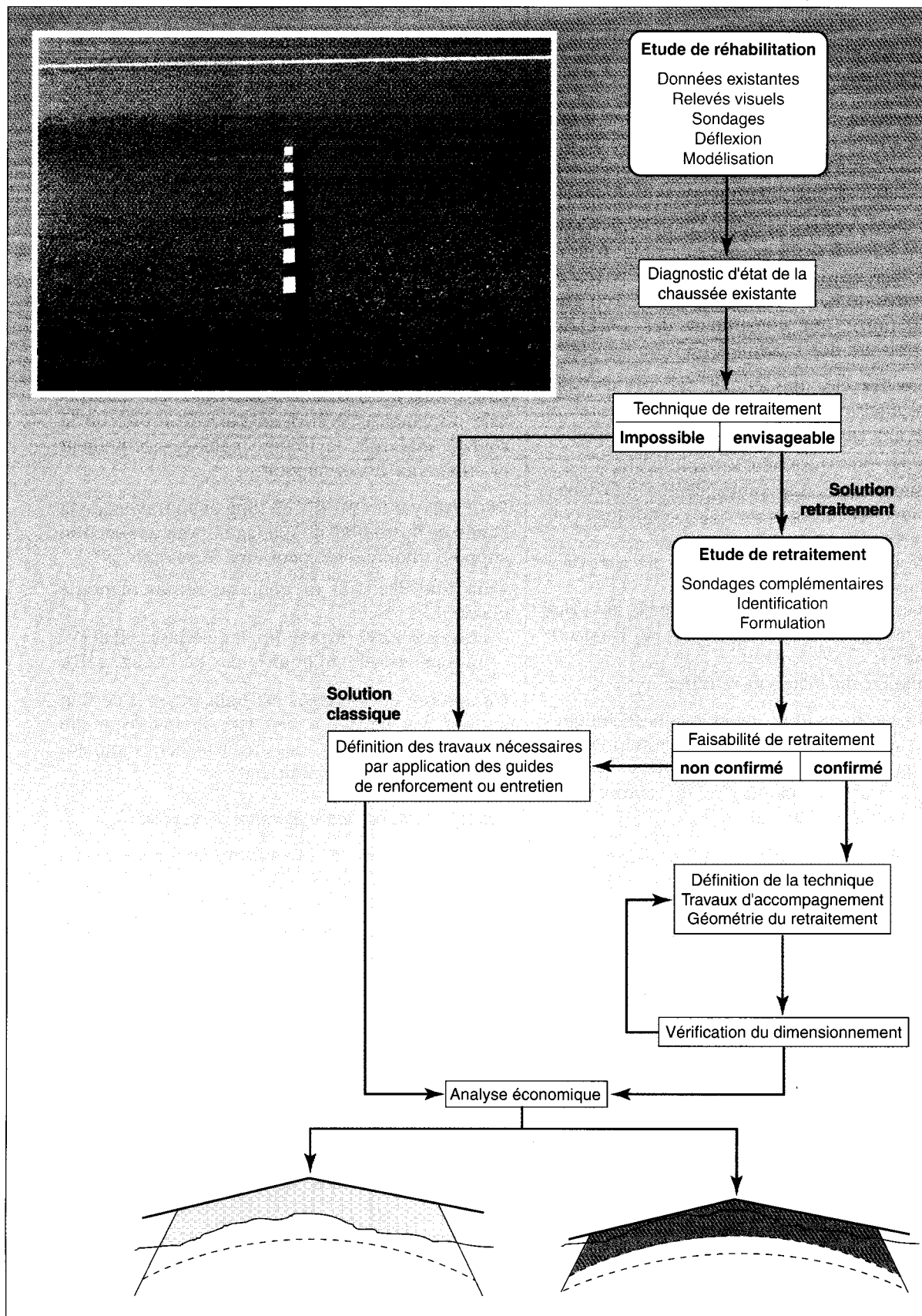


Fig. 3 - Schéma synoptique des études.

En fonction des caractéristiques du bitume résiduel et du rôle que l'on veut faire jouer à l'enrobé retraité, on définit l'émulsion régénérante à utiliser (souvent une émulsion de liant hydrocarboné de pénétrabilité 200 à 400 et un dosage d'émulsion aux environs de 2 %).

Formulation des mélanges

Cette partie de l'étude s'effectue sur les matériaux prélevés lors des sondages mais en prenant en compte leur évolution probable après décohesion, fraisage ou malaxage. Les matériaux doivent être représentatifs du chantier ou des sections homogènes qui y ont été définies, ce qui sous-entend généralement des prélèvements spécialement réalisés pour l'étude de formulation au moyen d'une fraiseuse, ce qui permet d'obtenir une granulométrie et une composition voisine de celle du matériau sur le chantier futur.

Définition du « squelette minéral »

Pour les retraitements de classes I et IV, qui concernent des matériaux prélevés dans les assises de la structure avec des caractéristiques plus évolutives et d'une plus grande variabilité, deux facteurs peuvent limiter la portée de l'étude de formulation.

Le premier est le fait qu'il est souvent nécessaire de « reprofiler » l'ancienne chaussée avant le passage de la machine de retraitement pour garantir le respect de l'épaisseur pour la nouvelle assise. Ce matériau complémentaire va modifier, voire corriger dans la mesure du possible, le matériau tel qu'il est prélevé lors de l'étude de reconnaissance.

Le second facteur est que ces matériaux prélevés sont dans un état (granularité en particulier) différent de celui qui va être le leur après leur passage dans la machine de retraitement.

Cela signifie qu'une étude de formulation rigoureuse, c'est-à-dire permettant d'obtenir des performances mécaniques représentatives pour le dimensionnement de la nouvelle structure, passe par le prélèvement de matériau fait au moyen d'une fraiseuse qui va élaborer le matériau de la même manière et dans les mêmes conditions que la machine de retraitement.

Dans le cas contraire, l'étude ne peut pas donner de résultats représentatifs. Elle doit être considérée uniquement comme un test de compatibilité granulati-liant, pour aider le projeteur à concevoir et dimensionner son retraitement tel que défini ci-après (cf. « Mise au point du projet ») (tableau VIII).

Pour les retraitements de classes II et III, qui concernent essentiellement des couches de surface traitées au bitume, la qualité du squelette minéral et son homogénéité sont meilleures. L'étude de formulation est moins sensible à l'évolution gra-

nulométrique du produit retraité. Mais quand cela est possible, rien ne vaut la réalisation d'une planche de « retraitement à blanc », qui permet de prélever des granulats totalement représentatifs du produit qui va être le squelette des nouvelles couches.

Définition du liant

Pour les retraitements à l'émulsion de bitume (et plus particulièrement ceux des classes II et III), le liant à utiliser est défini à partir des caractéristiques d'identification des produits à traiter. L'émulsion doit être compatible avec la nature et la granularité des matériaux et sa stabilité doit permettre, avant rupture, une répartition aussi complète que possible du bitume résiduel au sein du fraisat.

Une telle étude est à réaliser par le maître d'œuvre qui veut établir un dossier de consultation des entreprises avec une solution de base parfaitement définie, même si par ailleurs il autorise les variantes.

Dans le cas d'une solution variante, la même étude est indispensable avant toute décision, mais c'est l'entreprise qui la prendra en charge. Le maître d'œuvre fournira les prélèvements et leur analyse si la possibilité de variante est annoncée, dans le cas contraire l'entreprise devra obligatoirement effectuer les reconnaissances et prélèvements.

Dans le cas de retraitement à l'émulsion de classe I, l'apport des anciennes couches bitumineuses dans le fraisat est mineur et peut être considéré comme le reste du squelette minéral retraité. L'émulsion de bitume va donc être définie essentiellement à partir de sa compatibilité avec les matériaux.

Dans le cas d'un retraitement avec un liant hydraulique (classe IV), le choix du liant hydraulique est davantage le fait de critères locaux ou économiques que de contraintes techniques, mais celles-ci, dans certains cas, peuvent amener à privilégier un liant plutôt qu'un autre.

Définition du mélange

Le matériau à traiter étant connu et le liant étant choisi, l'étude de formulation est faite selon la méthodologie d'étude correspondant à la technique de référence.

• **Pour le retraitement à l'émulsion de bitume**, la norme NF P 98-121 précise qu'elle comprend l'essai Duriez et/ou l'essai à la presse à cisaillement giratoire. Les dosages optimaux en liant et en eau sont fixés à partir de ces deux essais :

– l'essai Duriez LCPC (après murissement pendant 7 j) de manière à connaître la compacité et la résistance en compression,

– l'essai à la presse à cisaillement giratoire afin de viser une compacité prévisible en place satisfaisante (de l'ordre de 82 à 88 %).

Remarque 1. *Des essais à l'orniéreur peuvent se justifier dans le cas de trafics très agressifs ; pour être réaliste, ce test ne peut être réalisé qu'après un temps de murissement relativement long (au moins 70 jours).*

Remarque 2. *Comme pour les graves émulsions, en raison du comportement particulier de ces mélanges et de l'évolution favorable de leurs caractéristiques dans le temps, les résultats des essais Duriez et surtout à la presse à cisaillement giratoire sont encore mal calés par rapport au comportement réel sur chantier.*

• **Pour le retraitement avec un liant hydraulique**, la norme **NF P 98-114-1** définit une étude comprenant outre l'identification et la définition des composants (fig. 4) :

- la détermination des performances mécaniques (R_t et E),
- la détermination du délai de maniabilité pour différentes températures et le classement en catégorie de difficulté de compactage.

La difficulté de compactage des matériaux retraités au ciment est généralement de classe DC3. L'attention est attirée sur l'importance de la prise en considération de ce paramètre dans le cas de retraitement en couche épaisse, à partir de 30 cm notamment.

La connaissance du délai de maniabilité ne doit pas être oubliée car, le temps nécessaire pour la mise en œuvre étant plus long qu'avec un matériau classique (travail par bandes), il peut être problématique en période chaude.

Les matériels

Le recours à la technique de traitement en place des sols, puis des chaussées, s'est beaucoup développé en France, ce qui a provoqué d'importantes évolutions et des progrès dans les performances des matériels.

Cette partie précise la manière de caractériser les performances des matériels utilisés pour le retraitement des chaussées, car c'est un facteur essentiel pour une assurance de qualité des travaux.

Les épandeurs de liant pulvérulent [6]

Définition - Performances [7]

La fonction principale de ce matériel est de doser un pulvérulent sur la surface à traiter. La qualité du travail réalisé est appréciée, par le dosage surfacique délivré, en termes de valeur moyenne et d'homogénéité.

On détermine le dosage surfacique moyen, le coefficient de variation longitudinal (CVL), le coefficient de variation transversal (CVT) et le coefficient de variation de chantier (CVC) par pesées de prélèvements de pulvérulents effectués chacun sur une surface élémentaire connue.

Classification [7]

La norme **NF P 98-712** classe les épandeurs, d'une part, en fonction du principe de dosage qu'ils utilisent et, d'autre part, suivant la morphologie des éléments constitutifs.

D'après le principe de dosage, on distingue :

- les épandeurs à dosage volumétrique ;
- les épandeurs à dosage volumétrique à contrôle pondéral discontinu. Le matériel comprend un dispositif de contrôle, qui permet à un moment donné d'obtenir le poids de liant répandu et la surface d'épandage correspondant. Il s'agit là d'une des évolutions technologiques récentes permettant une aide à la conduite très positive vis-à-vis de la qualité du travail ;
- les épandeurs à dosage pondéral n'existent pas sur le marché ; seul un prototype a été construit.

Suivant la morphologie des éléments constitutifs, la classification des épandeurs se fait sur :

- le mode de propulsion (porté, automoteur ou tracté),
- le mode de transfert du pulvérulent entre la cuve et la surface à traiter (par gravité, par procédé mécanique, par transfert pneumatique, par association des différents procédés, avec ou sans système de répartition ou trémie intermédiaire en amont du système de dosage),
- le type de doseur (à tambour alvéolaire ou à convoyeur extracteur volumétrique).

Les matériels actuels sont généralement équipés d'un doseur alvéolaire, dont la vitesse de rotation est (conformément à la norme) asservie à la vitesse de translation de l'épandeur. En dehors du système de contrôle pondéral discontinu permettant de connaître le dosage surfacique moyen, un autre progrès important enregistré concerne la possibilité de faire varier la largeur de l'épandage. L'intérêt technique et économique de cette avancée technologique est particulièrement sensible pour le retraitement des chaussées.

Qualification

Le retraitement des chaussées impose la maîtrise du dosage de liant dans le mélange qui va constituer la nouvelle couche. Pour le retraitement de classe IV, cela impose une qualification des épandeurs de liant pulvérulent, qui passe par trois critères :

- l'homogénéité longitudinale de l'épandage du liant : elle est appréciée par le coefficient de variation longitudinal (CVL),

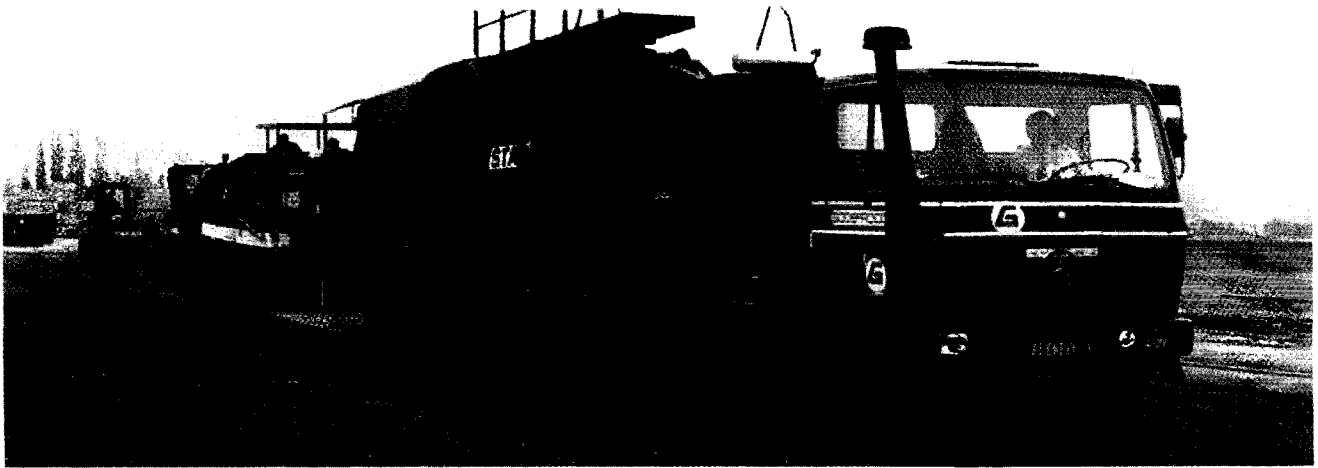


Fig. 4 - Atelier de retraitement avec un liant hydraulique.

TABLEAU II
Qualification des épandeurs

Critère \ 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 modifier la largeur d'épandage.	Oui	Non	-
<i>La réunion des trois notes affectées à chaque critère constitue le coefficient LTV.</i>			

- l'homogénéité transversale appréciée par le coefficient de variation transversal (CVT),
- la possibilité qu'offre le matériel de maîtriser la largeur d'épandage.

Suivant les résultats des essais réalisés dans le cadre d'une qualification du matériel, l'épandeur est crédité pour chaque critère d'une note 3, 2 ou 1 (des meilleures aux moins bonnes performances) selon le barème donné dans le tableau II.

NB : La norme NF P 98-115 précise que les matériels ayant un coefficient de variation pour le dosage moyen supérieur à 10 ne sont pas autorisés pour un traitement en place.

On peut, dans le même esprit, admettre que, sauf pour des trafics très faibles ou des objectifs de qualité très limités, le retraitement des chaussées de classe IV impose l'emploi d'un épandeur dont le « coefficient LTV » est de 333.

Cas des liants sous forme liquide (émulsion, adjuvant, eau, etc.)

L'introduction se fait directement dans la chambre de malaxage à l'aide d'une pompe doseuse dont le débit est asservi à la vitesse de

travail ou de translation du malaxeur. Une rampe assurant une bonne diffusion sur toute la largeur est absolument indispensable dans les malaxeurs classiques à arbre perpendiculaire au sens de marche, car nous verrons qu'ils n'assurent pas de mélange dans le sens transversal. L'état et le bon fonctionnement de la ou des rampes doivent être régulièrement contrôlés. L'introduction de plusieurs liquides nécessite plusieurs circuits.

Les malaxeurs [6]

Définition [7]

La norme NF P 98-712 définit un malaxeur comme une machine automotrice ou non destinée à pulvériser, triturer, aérer, homogénéiser, ameublir des matériaux en place et à les mélanger plus ou moins intimement avec un ou plusieurs matériaux d'apport.

Classification - Performances

On distingue trois types de malaxeurs selon leur mode d'action :

- par **labourage** au moyen de socs,
- par **bêchage** au moyen de bèches animées d'un mouvement alternatif,
- par **malaxage** au moyen d'outils rotatifs ;

suivant trois morphologies de machines :

- **tractée**,
- **arrière** (le dispositif de malaxage est situé à l'arrière d'un essieu et en porte à faux),
- **centrale** (le dispositif de malaxage est suspendu entre deux essieux).

Dans les premières expérimentations, des résultats acceptables ont été obtenus pour des chaussées à très faible trafic avec des malaxeurs à bèches arrière à axe horizontal (Rotobèche). Aujourd'hui, on utilise presque uniquement des malaxeurs pulvérisateurs à rotor horizontal. Les

essais réalisés par le Centre d'expérimentation routière (CER) de Rouen sur des matériels de ce type permettent de tirer les conclusions suivantes quant à leurs performances :

- l'homogénéité de malaxage selon un axe vertical est très bien assurée sur la totalité de l'épaisseur traitée,
- selon les machines, des variations plus ou moins importantes peuvent exister quant à l'épaisseur malaxée. Il est possible avec certains matériels de respecter l'épaisseur désirée à 1 cm près,
- le traitement en place correctement réalisé conduit à des performances mécaniques voisines de celles obtenues par un traitement en centrale,
- les paramètres de fonctionnement de la machine peuvent faire varier beaucoup les performances des matériaux,
- les malaxeurs à axe horizontal (orthogonal au sens de déplacement) n'ont pratiquement aucun effet pour homogénéiser le matériau dans le sens transversal. D'où l'importance de la bonne répartition transversale de l'eau d'humidification et du liant, qu'il soit liquide (rampe à liant dans les traitements de classe I, II et III) ou qu'il soit pulvérulent (importance du paramètre T du coefficient LTV des épandeurs pour les traitements de classe IV).

Qualification [5]

L'objectif visé est d'apprécier la qualité du travail qu'un matériel peut fournir en fonction de ses caractéristiques et de paramètres mesurables. Les critères retenus à cet effet sont quantifiés dans un coefficient HEPI ; chacune des lettres représentant un paramètre qui est affecté d'une note 3, 2 ou 1 par ordre de performances décroissantes :

- > **H** représente l'homogénéité du mélange élaboré, qui permet de définir et garantir les caractéristiques mécaniques minimales du produit ;
- > **E** signifie épaisseur. Le respect de l'épaisseur malaxée est nécessaire pour garantir le

dosage relatif du liant et pour permettre d'envisager, en connaissance de cause, un dimensionnement pour la nouvelle assise ;

> **P** caractérise la puissance de fraisage (puissance disponible au rotor) indispensable pour distinguer le matériel qui peut décohésionner une ancienne chaussée et assurer une bonne répartition du liant dans le mélange ;

> **I** signifie injection, ce qui permet de distinguer les matériels qui peuvent maîtriser, en débit et en répartition transversale, un apport de liquide dans la chambre de malaxage (eau ou liant).

Pour déterminer la valeur du coefficient HEPI d'un malaxeur, chaque critère est noté selon le barème du tableau III.

Remarque : *Certaines machines possèdent des malaxeurs portés indépendants, elles reprennent alors la totalité du matériau pour le mélanger avant de la redistribuer dans le profil en travers. Le coefficient HEPI peut également être utilisé pour caractériser les performances de telles machines.*

Les ateliers de retraitement [4]

Un chantier de retraitement exige le travail simultané d'un grand nombre d'engins, disposés en véritable « train » pouvant mobiliser jusqu'à un kilomètre de chaussée (fig. 5).

Pratiquement toutes les entreprises routières françaises peuvent réaliser un retraitement de chaussées quelle que soit sa classe, puisque les matériels nécessaires existent sur le marché. Avant qu'il en soit ainsi ou pour répondre au mieux aux exigences de la technique, des entreprises ont mis au point des ateliers, voire des matériels spécifiques permettant de regrouper ou de réaliser d'une manière différente certaines tâches comme le décohésionnement ou fraisage, le dosage du liant et le malaxage.

TABLEAU III
Qualification des malaxeurs

	3	2	1
H	Homogénéisation dans le sens transversal et dans l'épaisseur traitée.	Homogénéisation dans l'épaisseur traitée.	Homogénéisation très limitée.
E	Coefficient de variation de l'épaisseur inférieur à 5 % avec une « fonction supplémentaire ».*	Coefficient de variation de l'épaisseur inférieur à 5 %.	Coefficient de variation de l'épaisseur supérieur à 5 %.
P	Supérieure à 70 kW/m.**	$35 < P \leq 70$ kW/m	Inférieure ou égale à 35 kW/m.
I	Liquide dans la chambre de malaxage possible + plage de débit suffisante + largeur variable + asservissement à la vitesse.	Liquide dans la chambre de malaxage possible.	Pas de possibilité d'injecter un liquide dans la chambre de malaxage.
* Maintien de la profondeur quel que soit l'effort de fraisage demandé à la machine. ** Exprimée en kilowatt par mètre de largeur de travail.			

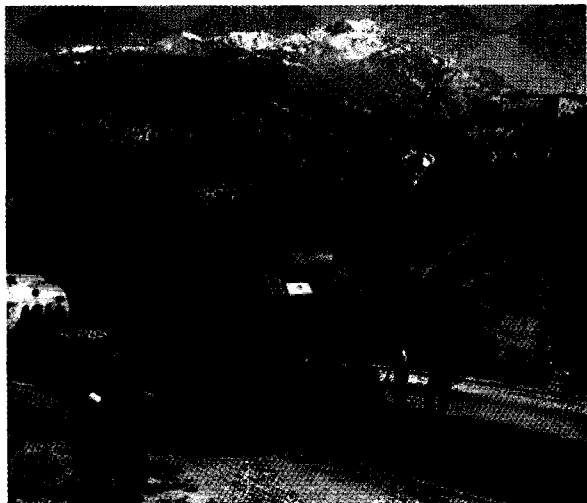


Fig. 5 - Atelier de retraitement à l'émulsion de bitume.

- **Décohésionnement ou fraisage.** Il peut être effectué par une fraiseuse indépendante en amont de l'atelier. Dans ce cas, les fraisats sont mis en cordon et repris par un élévateur de cordon.

Il peut être effectué aussi par l'atelier de traitement lui-même, muni d'un rotor de fraisage : c'est souvent le cas pour les retraitements de classe IV.

- **Dosage du liant (de régénération ou d'apport).** Le liant est stocké dans une cuve ou un silo porté ou non par l'atelier principal et qui généralement assure le dosage.

- **Malaxage.** Selon les ateliers, cette phase est intégrée à celle du fraisage ou à celle de la mise en œuvre.

Remarque : Dans tous les cas, il conviendra d'examiner les conséquences de l'organisation du chantier sur l'exploitation des voies et sur l'écoulement du trafic : le traitement en demi-largeur avec maintien de la circulation peut s'avérer peu réaliste sur les chaussées étroites, de plus les nombreux approvisionnements perturbent la voie libre ; les ateliers spécialisés se présentent généralement sous des formes plus compactes mais le matériel est lourd, encombrant et moins manœuvrable.

Caractérisation des matériels [8]

L'avis technique pour un matériel est le document français qui permet de préciser les valeurs numériques de toutes ses caractéristiques physiques et mécaniques. Il permet de contrôler ses performances. Il vérifie les renseignements donnés par le constructeur et valide les conditions ou précautions d'emploi d'une utilisation optimale du matériel ainsi que son domaine d'emploi.

L'évaluation technique d'un matériel est faite avec des essais réalisés par le CER de Rouen. Ces essais sont le prolongement d'un premier examen des caractéristiques morphologiques, de

la chaîne cinématique, des dispositifs et équipements spéciaux au regard des informations communiquées sur la fiche technique. Vient ensuite l'analyse des résultats obtenus sur des chantiers ou lors d'essais particuliers réalisés par le constructeur.

La procédure et les conditions d'établissement des avis techniques sont définies dans un mémento et une charte de la commission chargée de les délivrer [8]. C'est le rôle de la Commission du matériel au sein du Comité français pour les techniques routières (CFTR), structure paritaire regroupant les maîtres d'ouvrage et les professionnels.

En 1996, les avis techniques formulés pour les matériels de retraitement et en cours de validité au 1er janvier 1997, sont les suivants :

- avis technique n° 94 ARC 700 Malaxeur ;
- avis technique n° 95 ARC Dosage n° 1 Épandeur ;
- avis technique n° 77 ARC Dosage n° 2 Épandeur.

Les avis techniques sont disponibles au bureau de vente du Service d'études techniques des routes et autoroutes (SETRA).

Mise au point du projet

Cette partie permet de compléter l'étude et la conception d'un projet de retraitement en place en proposant une méthode de dimensionnement en cohérence avec le guide technique « Conception et dimensionnement des structures de chaussée » [9], puis en précisant quelques éléments concernant l'analyse économique.

Au préalable, il est nécessaire de définir des niveaux de qualité du retraitement et de faire un bilan concernant les performances mécaniques des matériaux élaborés par retraitement en place d'anciennes chaussées.

Niveaux de qualité du retraitement

La qualité des travaux par traitement en place des matériaux est tellement liée aux performances des matériels utilisés qu'il est utile de distinguer deux niveaux dans la technique de retraitement en place des anciennes chaussées.

- **Le niveau R₁.** Il doit être spécifié quand les trafics concernés par la chaussée sont moyens ou si les matériaux à recycler sont particulièrement homogènes et de qualité, de manière à leur assurer une valorisation optimale.

- **Le niveau R₂.** Il ne peut être admis que pour les très faibles trafics (T4 et T5) ou lorsque l'hétérogénéité ou la médiocrité des matériaux à recycler est telle que le produit obtenu ne permet

pas la réalisation d'une assise de chaussée mais plutôt d'une plate-forme classée « exceptionnelle », pour ensuite réaliser une couche de base classique.

La définition des niveaux de retraitement est faite à partir des coefficients HEPI et LTV dans le cas de retraitement avec un liant hydraulique pulvérulent. Les conditions fixées doivent être satisfaites pour les deux coefficients.

Le retraitement de niveau R_1 est réalisé avec des matériels dont le coefficient HEPI est égal ou supérieur à 2 233 et le coefficient LTV égal ou supérieur à 332.

Le retraitement de niveau R_2 répond aux autres cas.

La figure 6 schématise cette définition.

Si la qualité du retraitement est liée aux performances des matériels, la qualité de l'ouvrage final doit intégrer d'une part, la qualité des matériaux recyclés et d'autre part, la qualité de la mise en œuvre et plus particulièrement celle du compactage.

Au niveau du compactage d'une couche de base en matériaux normalisés, on requiert habituellement une qualité de compactage Q1. Compte tenu du fait que la nouvelle assise retraitée est souvent plus épaisse et toujours moins facile à compacter, il nous paraît réaliste de spécifier une qualité de compactage Q2 (qui sera considérée pour l'étude de formulation et la définition des paramètres de dimensionnement).

Avec une qualité de retraitement R_2 ou quand la couche retraitée est considérée comme une nouvelle couche de fondation, on peut également spécifier la qualité de compactage Q2.

– Q2 : Masse volumique moyenne supérieure à 97 % de la référence Proctor Modifié et masse volumique en fond de couche supérieure à 95 % de la même référence.

– Q1 : Masse volumique moyenne supérieure à 100 % de la référence Proctor Modifié et masse volumique en fond de couche supérieure à 98 % de la même référence.

Bilan des caractéristiques observées

Retraitement à l'émulsion de bitume

Les retraitements à l'émulsion de bitume ont été réalisés à la suite d'études dont les objectifs étaient d'aboutir à des matériaux tout à fait comparables à une grave-émulsion, telle que définie dans la norme NF P 98-121.

Pour les retraitements de classes II et III, en l'état actuel de la technique et suite aux études réalisées soit pour des travaux, soit dans le cadre de recherches, on peut donner les fourchettes suivantes pour les caractéristiques mécaniques des mélanges qui les situent largement dans le type 3 au sens de la norme. Ces résultats sont extraits de l'article de J.-F. Lafon dans le Bulletin de liaison des laboratoires des Ponts et Chaussées n° 183 de janvier-février 1993 [3] :

- compacité Duriez LCPC 85 à 93 % (le plus souvent 88 à 91 %),
- résistance en compression simple à 14 j 18 °C : 5 à 6,5 MPa,
- rapport immersion/compression (après 7 j de cure et 7 j d'immersion) 0,65 à 0,80 (le plus souvent supérieur à 0,70),
- compacité presse à cisaillement giratoire 100 g/ractions 75 à 85 %,
 - essai d'orniérage (tableau IV).

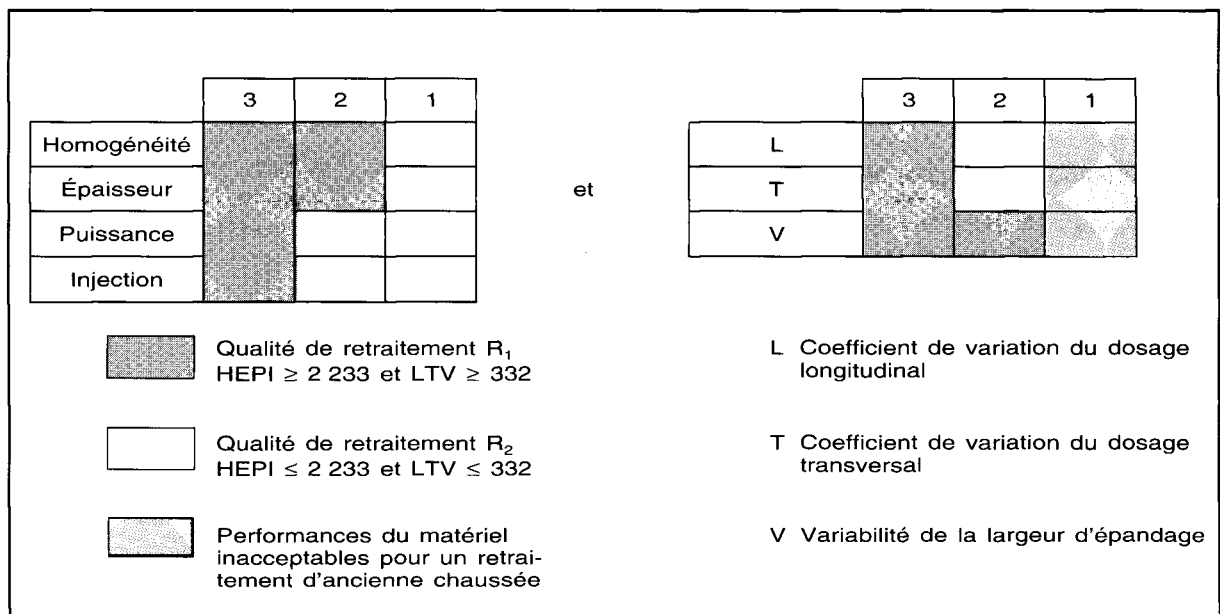


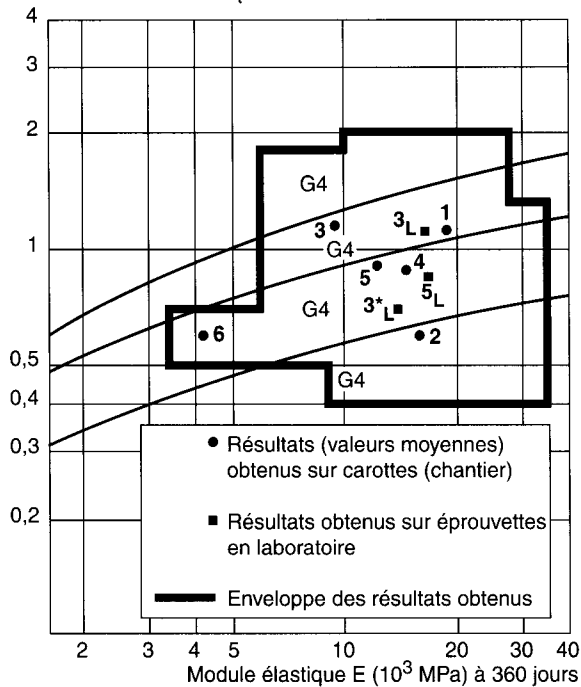
Fig. 6 - Définition des niveaux de qualité des retraitements.

TABLEAU IV
Synthèse des résultats
obtenus aux essais d'orniérage

Température (°C)	Compacité (%)	Profondeur d'ornière (%)		
		Cycles		
		1 000	3 000	10 000
60	76,8	11,7	14,9	19,8
50 *	75,8	7,6	10,5	17,4
50 **	76,9	8,1	13,2	19,2
50	80	9,7	13,3	19,5

* Prélèvement chantier - Mûrissement 96 j
** Mélange laboratoire identique à * - Mûrissement 92 j

Résistance en traction R_t (MPa) à 360 jours



Repère	Age	Ciment (%)
1	Carottes 2 ans	4,5
2	Carottes 2 ans	4,5
3	Carottes 2 ans	5
3	Étude 360 j à 100% de compacité	5
3 *	Étude 360 j à 96,5% de compacité	5
4	Carottage à 2 ans	5,5
5	Étude 360 j	5
5	Carottage à 1 an	5
6	Carottage à 2 ans	6

Fig. 7 - Performances mécaniques des matériaux traités au ciment. Qualité de retraitement R_1 .

Pour les retraitements de classe I, les performances mécaniques visées, comme celles qui ont été obtenues sur chantier, sont celles d'une grave émulsion de type 2 au sens de la norme.

Retraitement avec un liant hydraulique

De très nombreux chantiers ont été réalisés avec retraitement en place de l'ancienne chaussée avec un liant hydraulique. L'expérience montre que, si les règles de l'art ont été observées et en particulier lorsque le retraitement a fait l'objet d'une étude préalable, le comportement des chaussées réhabilitées satisfait aux besoins d'usage attendus.

Il est difficile de comparer les résultats obtenus en ce qui concerne les performances mécaniques compte tenu des types d'essais réalisés (R_t , R_c , R_p) de la nature du liant (ciment, liant routier, laitier), de l'âge du matériau au moment du test et des moyens matériels mis en œuvre pour réaliser les travaux.

La figure 7 situe les performances mécaniques observées sur des chantiers comparables, réalisés avec un niveau de qualité R_1 , avec un ciment comme liant. Les essais réalisés ont fourni une résistance en traction directe à 360 j (ou deux ans) ainsi qu'un module. Deux chantiers permettent de comparer les résultats obtenus sur carottes et sur éprouvettes fabriquées en laboratoire avec les matériaux élaborés *in situ* avec la machine de retraitement. On constate que, dans ce cas de figure, et quelle que soit la nature de l'ancienne chaussée, on arrive à des matériaux dont les performances correspondent à une grave-ciment G2 au sens de la norme NF P 98-116.

Dimensionnement

Cette partie se réfère au guide technique « Conception et dimensionnement des structures de chaussée » : document SETRA-LCPC de décembre 1994 [9]. Ce complément permet d'appliquer le guide dans les meilleures conditions suivant des orientations prises en fonction de ce que l'on sait aujourd'hui de la technique de retraitement.

Trafic

Le sujet est traité dans le chapitre VI.2.1. du guide.

La classe de trafic est déterminée à partir du trafic lourd par sens, compté en moyenne journalière annuelle (MJA) pour la voie la plus chargée, à l'année de mise en service selon le tableau V.

Pour le dimensionnement, on calcule un nombre équivalent d'essieux de référence (NE) correspondant au trafic poids lourds pour la durée de vie

TABLEAU V
Définition des classes de trafic

Classes	T5	T4	T3		T2		T1		T0		TS		TEX
			T3 ⁻	T3 ⁺	T2 ⁻	T2 ⁺	T1 ⁻	T1 ⁺	T0 ⁻	T0 ⁺	TS ⁻	TS ⁺	
MJA	0	25	50	85	150	200	300	500	750	1 200	2 000	3 000	5 000

TABLEAU VI
Valeur du coefficient d'agressivité moyen
selon la classe de retraitement

	T5	T4	T3 ⁻	T3 ⁺	T2 ⁻	≥ T2 ⁺
GUIDE						
- Toutes structures	0,4	0,5	0,7	0,8		
- Bitumineuses h < 20					0,8	0,8
- Sols ; GNT ; GRH					1	1
- Semi-rigides					1,3	1,3
RETRAITEMENT (proposition)						
- Classes I ; II ; III	0,4	0,5	0,7	0,8	0,8	0,8
- Classe IV	0,4	0,5	0,7	0,8	1	1,3

envisagée. Ce nombre tient compte d'un coefficient d'agressivité moyen (CAM) du poids lourd par rapport à l'essieu de référence pour le type de structure concerné. Le CAM se calcule si l'on connaît la composition du trafic en nombre d'essieux et charges à l'essieu.

Le guide technique « Conception et dimensionnement des structures de chaussée » [9] donne, pour les différentes structures, des valeurs de CAM qui sont rappelées dans le tableau VI.

Nous proposons d'adopter les mêmes valeurs dans le cas des retraitements de classe I, II ou III.

Pour les retraitements de classe IV, nous proposons de moduler les valeurs comme indiqué dans le tableau VI.

Plate-forme support et modélisation

Le dimensionnement de la nouvelle structure nécessite une caractérisation de la plate-forme support en termes de module de déformation.

- Une **modélisation simple**, qui peut suffire pour les **chaussées à très faible trafic** quand il s'agit de **retraitement de classe I ou IV**, consiste à considérer la nouvelle assise retraitée comme une couche unique sur un massif semi-infini constitué par « ce qu'on laisse de l'ancienne structure » et le sol en place. Le problème est d'apprécier la portance de cette nouvelle plate-forme. Elle ne peut pas être mesurée (sauf dans le cas de prélèvements par fraisage pour une étude de formulation, ce qui est rare-

ment le cas pour les très faibles trafics). Elle ne peut qu'être estimée au terme de l'étude préalable de reconnaissance. Compte tenu des surconsolidations du sol support et de l'ancienne assise, obtenues avec le temps par le trafic, nous proposons de considérer que la nouvelle assise repose sur un massif ayant les performances d'une PF4 du guide technique de « Conception et dimensionnement des structures de chaussée » [9] (E = 200 MPa - ν = 0,35). Cette hypothèse ne peut être prise que si des mesures de déflexion faites pour l'étude préalable en valident la pertinence. Cela sous-entend également que cette étude préalable n'a pas décelé de défaut potentiel de portance ou que, si c'est le cas, des travaux d'accompagnement (drainage) fassent disparaître les problèmes éventuels.

- Pour des retraitements concernant des **trafics moyens**, ou des projets particuliers, ou généralement des **retraitements de classes II et III**, un contrôle du dimensionnement ne peut se concevoir sans une **modélisation plus fine** de la nouvelle structure.

Le problème reste le même quant à la caractérisation de portance du support de l'ancienne chaussée.

- Une première approche peut être faite grâce à l'étude préalable qui permet d'identifier géotechniquement les matériaux constituant le sol support et le contexte dans lequel ils se trouvent. Il suffit de se référer au GTR pour trouver sa portance par le biais d'une classe d'arase. Pour tenir compte de la surconsolidation des matériaux acquise avec le temps par le trafic et sous réserve que l'étude confirme leur état relativement sec (c'est ce que l'on trouve habituellement dans et sous les chaussées) nous proposons de surclasser les matériaux en adoptant les valeurs fixées dans le tableau VII, sachant que ces valeurs ne sont pas valables pour les élargissements.

Cette démarche peut suffire dans le cas de structures anciennes assimilables à une grave non traitée et quand on conserve peu de la structure en place dans le projet.

- Pour aller plus loin, et en particulier lorsque la partie conservée de l'ancienne chaussée est significative, nous proposons la même démarche que pour une étude de renforcement avec une modélisation de l'ancienne structure. Sa géomé-

TABLEAU VII
Portance de plate-forme à considérer pour le dimensionnement en fonction de l'identification du sol support

Sol constituant le support	Contexte	Module à considérer $\nu = 0,35$
A, B ₂ , B ₄ , B ₅ , B ₆ , C ₁ , C ₂ , R ₁₂ , R ₁₃ , R ₃₄	État hydrique des matériaux en place m, s ou ts. Environnement favorable ou travaux d'accompagnement pour maintenir ces états.	120 MPa
B ₁ , D ₁ , D ₂ , D ₃ , R ₁₁ , R ₂₁ , R ₂₂ , R ₂₃ , R ₄₃ , R ₆₃	Ces matériaux insensibles à l'eau ne posent pas de problème de portance (problème de recyclage en cas d'élargissement).	200 MPa

trie est connue par les sondages, on retient pour les couches de chaussée et le support, les modules qui permettent d'aboutir à une déformation comparable à celle qui est relevée en place (déflectographe). La modélisation de la nouvelle structure, pour vérifier son dimensionnement, peut alors être faite de la manière suivante :

- couche de surface : référence au guide technique « Conception et dimensionnement des structures de chaussée » [9] ;
- interface avec l'assise : normalement collée dans la mesure où les règles de l'art sont respectées ;
- assise obtenue par retraitement en place : référence au paragraphe suivant du présent document ;
- interface avec l'ancienne chaussée : normalement décollée dans le cas de retraitement de classe IV. Peut être collée en classe I, II ou III, si la technique d'exécution le permet ;
- partie conservée de l'ancienne chaussée et sol support : caractéristiques obtenues avec la modélisation de l'ancienne structure.

Caractéristiques des matériaux retraités à prendre en compte pour le dimensionnement

Cas d'une étude de formulation en laboratoire

Ce sera pratiquement toujours le cas des retraitements de classes I, II ou III.

Conformément au guide technique « Conception et dimensionnement des structures de chaussée » [9], pour les chaussées construites avec une grave émulsion (chapitre VI.1.4) pour les faibles et moyens trafics, l'usage est de justifier le bon comportement de la structure au vu du seul critère de déformation du sol support.

La même démarche est à suivre à partir du moment où le niveau de qualité du retraitement est R₁

(comme c'est pratiquement toujours le cas) et que l'étude de formulation a été menée pour satisfaire les critères de la norme **NF P 98-121**.

Dans ces conditions, suivant la classe de retraitement, on pourra considérer les caractéristiques suivantes pour le dimensionnement (module à 15 °C et 10 Hz).

- retraitement de classe I : $E = 1\ 000$ à $1\ 500$ MPa ;
- retraitement de classe II : $E = 2\ 000$ MPa ;
- retraitement de classe III : $E = 3\ 000$ MPa.

Pour le retraitement avec un liant hydraulique (classe IV), l'étude en laboratoire permet d'obtenir les valeurs de la résistance en traction directe et du module à 360 j : une telle éventualité ne peut évidemment concerner que des retraitements de niveau de qualité R1.

Dans ce cas, les précautions à prendre pour l'établissement de la formulation concernent la représentativité des matériaux utilisés (prélèvements par fraisage) et la prise en compte, d'une part, d'une qualité de compactage réaliste (qualité Q2) et, d'autre part, des surdosages en liant nécessaires pour compenser les dispersions prévisibles sur le chantier.

Il faut également couvrir les dispersions inévitables dans la nature et l'état des matériaux retraités. Pour cela, on effectuera un premier abattement de 10 % sur les valeurs obtenues en résistance et en module sur la formulation de base en laboratoire. Ensuite, on pourra déterminer les performances mécaniques pour le dimensionnement (chapitre V.4.2.4 du guide technique) et suivre les modalités fixées dans ce guide (chapitre VI.4.3).

Cas d'une absence d'étude de formulation en laboratoire

Pour le retraitement à l'émulsion de bitume, la compatibilité liant-granulat est toujours à vérifier et, l'étude de formulation étant rapidement réalisable, on ne doit normalement pas se situer dans une telle hypothèse.

Pour le retraitement avec un liant hydraulique, sans étude en laboratoire, on ne peut qu'estimer les caractéristiques mécaniques à partir de l'expérience, de résultats et de chantiers antérieurs. Les points de repère suivants peuvent être cités :

- On a pu constater sur des chantiers de retraitement d'anciennes chaussées de qualité R1 avec un matériau à recycler de bonne qualité et homogène, une valeur moyenne de résistance en traction par fendage à un an de l'ordre de 1 MPa avec un écart-type de 0,3 MPa. Cela signifierait que l'on peut élaborer une grave hydraulique classée G2 dans la norme **NF P 98-116** au vu des performances *in situ*.

- On sait que de bonnes performances ne peuvent être acquises que si les « granulats » recyclés de l'ancienne chaussée ont de bonnes caractéristiques. On peut se fixer comme seuil pour la définition de bonnes performances, des granulats tels qu'on peut estimer leurs caractéristiques au sortir de la machine de retraitement :

- les gravillons doivent être au moins de catégorie C et les sables de catégorie b en propreté au sens de la norme **P 18-101**,

- le matériau doit avoir une granularité suffisamment homogène pour satisfaire les spécifications des fuseaux correspondant aux graves de type A tels que définis dans la norme sur la grave non traitée (**NF P 98-129**).

- On peut aussi définir une formulation de base en se référant aux formulations locales élaborées en centrale de malaxage avec des matériaux comparables, plus particulièrement pour arrêter la teneur en liant. Pour ce faire, il convient de majorer de 0,5 à 1 point les teneurs en liant (en fonction des performances du matériel d'épandage), de manière à couvrir l'inévitable dispersion de chantier.

- L'absence d'étude en laboratoire signifie que le chantier concerne de faibles trafics ou peut être réalisé avec des moyens limités dont il faut tenir compte. À cette estimation des performances mécaniques du mélange doivent être associés pour le dimensionnement, une moins bonne homogénéité du mélange et le moindre respect des épaisseurs.

Au terme de l'analyse du projet, dans l'esprit de ces quatre remarques, pour vérifier le dimensionnement d'un retraitement de classe IV, on pourra retenir les valeurs fixées dans le tableau VIII pour le module E et la contrainte σ_6 du nouveau matériau d'assise ainsi que pour le coefficient de dispersion sur l'épaisseur Sh.

Ces valeurs sont données à titre indicatif ; elles supposent le respect des règles de l'art pour une qualité de compactage Q2.

Comportement au gel/dégel

Le contrôle du dimensionnement géométrique du projet de retraitement ne dispense pas d'une vérification du bon comportement de la structure au gel/dégel.

Pour ce faire, on se référera au guide technique « Conception et dimensionnement des structures de chaussée » [9], en assimilant la nouvelle assise des retraitements de classe I, II ou III, à une grave émulsion et à une grave-ciment pour les traitements de classe IV.

Analyse économique

- **Une première analyse** est faite en amont de la consultation des entreprises : elle peut conduire le maître d'œuvre à considérer la solution de retraitement en place comme une solution de base ou comme une solution variante obligatoire ou non.

Le maître d'œuvre doit comparer une solution classique de réhabilitation et une solution de retraitement en examinant, pour chacune d'elles, l'incidence économique directe ou indirecte :

- de la géométrie du projet (relèvement ou non du profil en long),
- de l'exploitation d'une carrière et du transport des granulats,
- de la conception même de la nouvelle structure de chaussée et de l'entretien qui lui est associé.

- **Une deuxième analyse** est faite au moment du choix des offres des entreprises, qu'il s'agisse de la réponse à une solution de base retraitement ou de l'examen d'une variante.

TABLEAU VIII
Valeurs indicatives des paramètres de dimensionnement pour le retraitement avec un liant hydraulique

Qualité du retraitement	Catégorie des gravillons (P 18-540)	Catégorie des sables (P 18-540)	Maîtrise et homogénéité de la granularité (NF P 98-129)	Classe de la grave hydraulique (NF P 98-116)	Paramètres pour le dimensionnement		
					E (MPa)	σ_6 (MPa)	S_h (MPa)
R1	C	a ou b	Oui	G3/G2	20 000	0,65	3 *
	Autres cas			G2	16 000	0,50	3 *
R2	C	a ou b	Oui	G2	16 000	0,50	4
	Autres cas			G1	11 000	0,30	4

E : module d'Young (MPa).

σ_6 : contrainte pour laquelle la rupture par traction en flexion sur éprouvette de 360 jours est obtenue pour 10^6 cycles (MPa).

S_h : écart-type sur l'épaisseur retraitée (cm).

* L'écart-type retenu dans ce tableau est le fait principal du matériel. Pour que ces valeurs soient retenues, il faut qu'avant le passage de la machine un reprofilage ait été éventuellement réalisé pour que, après réglage et compactage, l'épaisseur théorique soit respectée. Si un reprofilage nécessaire n'a pas été réalisé, il faut prendre $S_h = 4$ cm.

• **Un bilan technico-économique** est fait en reprenant les mêmes sujets d'analyse mais avec les coûts issus des propositions des entreprises. Les effets directs de la solution de retraitement sont parfaitement monétisables ; doivent s'ajouter des effets indirects plus difficilement chiffrables. Ce sont, par exemple :

- la gêne des usagers et celle des riverains (du chantier ou des itinéraires de transport des matériaux) pendant la période des travaux [5],
- l'intérêt du recyclage dans l'économie globale au niveau régional vis-à-vis des conséquences sur l'environnement de l'exploitation d'une car-

rière ou d'une ballastière ; des conséquences du transport des matières sur la fatigue des réseaux routiers empruntés, etc.

Les contraintes d'environnement auxquelles sont soumis les travaux de génie civil et les nouvelles demandes des usagers de la route imposent aux décideurs (maîtres d'ouvrage et maîtres d'œuvre), une analyse technico-économique globale au lieu du seul examen du montant d'une soumission pour un projet. Les techniques de retraitement en place et à froid des anciennes structures de chaussées apportent une solution positive à ces nouvelles données socio-économiques.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- | | |
|--|---|
| <p>[1] SETRA-LCPC (1986), <i>Retraitement en place des chaussées</i>, Note d'information, 23, septembre.</p> <p>[2] SETRA-LCPC (1988), <i>Retraitement des chaussées à l'émulsion de bitume</i>, Note d'information, 42, avril.</p> <p>[3] LAFON J.-F. (1993), Retraitement à froid des chaussées à l'émulsion de bitume. Méthodologie d'étude, suivi de réalisation et de comportement, <i>Bulletin de liaison des laboratoires des Ponts et Chaussées</i>, 183, janvier-février, pp. 23-26.</p> <p>[4] LEFORT M., MEUNIER Y. (1993), Retraitement en place à l'émulsion, Le recyclage à froid en place, dossier recyclage, <i>Revue générale des routes et aérodromes</i>, 172, novembre.</p> <p>[5] <i>Revue générale des routes et aérodromes</i> (1994), Route, innovation, environnement, hors série.</p> <p>[6] Matériels, <i>Bulletin de liaison des laboratoires des Ponts et Chaussées</i>, Spécial XVIII, mai 1995.</p> <p>[7] Norme NF P 98-711, <i>Matériels de construction et d'entretien des routes. Traitement en place ou retraitement : matériels de préparation des sols et de stockage des liants pulvérulents. Terminologie.</i></p> | <p>Norme NF P 98-712 : Matériel de construction et d'entretien des routes - Traitement en place ou retraitement : épandeurs de liants pulvérulents et malaxeurs de sols en place. Terminologie.</p> <p>Norme NF P 98-713, <i>Matériels de construction et d'entretien des routes. Traitement en place ou retraitement : fraiseuses. Terminologie.</i></p> <p>[8] Commission du matériel (1988), <i>Procédure d'avis technique, Matériels de traitement et de reconditionnement de chaussées à froid, mémento</i>, octobre.</p> <p>[9] LCPC-SETRA (1994), <i>Conception et dimensionnement des structures de chaussée</i>, Guide technique, décembre.</p> <p>[10] Norme NF P 98-121, <i>Grave émulsion.</i></p> <p>[11] Norme NF P 98-129, <i>Grave non traitée.</i></p> <p>[12] Norme NF P 98-116, <i>Grave ciment.</i></p> <p>[13] Norme NF P 98-114-1, <i>Méthodologie d'études graves hydrauliques.</i></p> <p>[14] Norme NF P 98-115, <i>Exécution des corps de chaussées.</i></p> |
|--|---|

ABSTRACT

Cold on-site recycling of old pavements : a survey of the technique

M. LEFORT

The technique of recycling old pavements is not new, as the « Retread process » dates back to the 1950s. The technique has evolved considerably as a result of changes in plant and the lessons of experience.

This paper considers the history and principles of cold recycling techniques as applied to old pavements. Different processes are presented and a classification of recycling techniques using bitumen emulsion or hydraulic binders is put forward.

Four classes of retread process have been defined, three with bitumen emulsion and a fourth with a hydraulic binder.

This paper presents the technique, emphasizing three major aspects:

- The methodology of essential preliminary studies : from diagnosing the condition of the old pavement through taking samples to mix design,
- Characterization of retread plant (spreaders and mixers) by means of the LTV and HEPI coefficients,
- The design of a pavement recycling project with the aim of achieving the desired quality of recycling while suggesting a method for validating the new structure.