

LES ENROBES A MODULE ELEVE :

BILAN DE L'EXPERIENCE DE FRANÇAISE ET TRANSFERT DE TECHNOLOGIE

Par Yves BROSSEAUD
Directeur de Recherche au LCPC

INTRODUCTION

Dans les années 80, les travaux de renforcement en traverse d'agglomération et de restructuration de voie lente d'autoroutes ont conduit à développer des matériaux bitumineux d'assise aux performances mécaniques plus élevées (module et fatigue), permettant d'en réduire l'épaisseur. Les enrobés à module élevé (EME) étaient nés.

La norme [NF P 98-140 (novembre 1999)] prévoit 2 classes d'EME. La classe 1 correspond à des graves bitumes à module élevé (14 000 MPa) obtenu par l'emploi d'un bitume dur, aux dosages voisins de ceux des graves bitumes (GB). La classe 2 correspond à un enrobé à module élevé comportant, de plus, un très bon comportement en fatigue, du fait du dosage élevé en bitume dur. C'est toujours de cette classe 2 que l'on parle lorsque l'on désigne de manière globale un EME.

Pour parvenir à concilier deux propriétés, quelques peu antinomiques, comme une rigidité importante ($E \geq 14\,000$ MPa) et une résistance élevée en fatigue ($\epsilon_6 \geq 130$ μ def), il est fait usage d'un liant dur (pénétrabilité comprise entre 10 et 35 1/10^{ème} mm ; TBA $\geq 65^\circ$ C), avec un dosage important (environ 5,5 à 6%, comparable à celui des enrobés pour couche de surface). La consistance élevée du mastic (bitume + filler) associée à un faible pourcentage de vides (3 à 5 %) conduit aussi à une très bonne résistance à l'orniérage.

I - PERFORMANCES ET FORMULATIONS

Par rapport aux formulations des GB, celles des EME sont plus voisines de celles des enrobé épais pour couche surface (BBSG) ou des GB de classe 4: courbe, généralement continue, comportant 30 à 35 % de sable et 7% de fines. Les dimensions maximales sont : 10, 14 et 20 mm, mais ce sont les 0/14 semi-grenu qui sont les plus fréquemment utilisés. Les caractéristiques mécaniques et de fabrication, concernant l'angularité, la propreté par exemple, des gravillons et des sables, sont conformes à celles des GB. Comme pour la formulation des GB, la norme permet d'utiliser des agrégats d'enrobés (matériaux bitumineux à recycler) selon le contexte du chantier avec un maximum de 40 %. La teneur en fines est de 7 à 9 %.

Le liant utilisé est le plus souvent un bitume pur prêt à l'emploi, beaucoup plus rarement un bitume modifié ou un bitume spécial, tels que définis dans la norme NF EN 12591, élaborés par les sociétés pétrolières et les entreprises routières. Bien qu'aucune caractéristique des liants ne soit imposée dans la norme, il convient d'utiliser le plus souvent des bitumes 10/20, 15/25 ou 20/30 c'est à dire dont la pénétrabilité à 25° C se place dans l'intervalle 10 - 30 (1/100 mm) et dont la température Bille-Anneau soit proche de 65° C, ou supérieure.

Note : un bitume de grade traditionnel (35/50) peut être utilisé avec des additifs de nature organique (gilsonite, apshalte dur,...) sous forme de fines ou de granulés, pour durcir le liant et augmenter la rigidité de l'enrobé. Ce moyen est employé dans les zones géographiques où les classes de bitume dur ne sont pas disponibles. Ce pourrait être une solution pour réaliser des EME dans les pays du Maghreb.

Le module de richesse (ou teneur en liant associée) définit les deux types d'EME, voir tableau 1.

EME de type 0/10, 0/14 ou 0/20	CLASSE 1	CLASSE 2
K	$\geq 2,5$	$\geq 3,4$
Dosage en bitume ($MVR_g=2,65$)	$\geq 4,2$ (<i>idem</i> GB 3 ou 4)	$\geq 5,6$

Tableau 1 - Valeurs minimales du module de richesse.

Une bonne tenue en fatigue (cas des EME Classe 2) est assurée par une teneur en vide faible (de l'ordre $\leq 6\%$), et par un film épais de liant autour des granulats, caractérisé par le module de richesse, et assurant une bonne déformabilité favorable à l'auto-réparation.

Le tableau 2 présente une comparaison des caractéristiques mécaniques normalisées des matériaux bitumeux d'assises, entre les graves bitumes GB et les enrobés à module élevé EME. On notera qu'il existe une bonne continuité dans les performances mécaniques, entre les classes de GB et d'EME, pour répondre à des choix variés d'utilisation.

ESSAIS	GB de classe 2	GB de classe 3	EME Classe 1 ou GB de classe 4	EME Classe 2
DURIEZ à 18° C				
Rapport r/R	$\geq 0,65$	$\geq 0,70$	$\geq 0,70$	$\geq 0,75$
ORNIÉRAGE				
- Profondeur d'orniére en % de l'épaisseur de la dalle (10 cm) à 60° C, au % de vides compris entre :				
λ 8 et 11 % après 10.000 cycles	$\leq 10\%$			
λ 7 et 10 % après 10.000 cycles		$\leq 10\%$		
λ 5 et 8 % après 30.000 cycles			$\leq 10\%$ (GB 4)	

λ 7 et 10 % après 30.000 cycles			$\leq 7,5$ % (EME 1)	
λ 3 et 6 % après 30.000 cycles				$\leq 7,5$ %
MODULE COMPLEXE Module à 15° C, 10 Hz au % de vides compris entre :				
λ 7 % et 10 %	≥ 9.000 MPa	≥ 9.000 MPa		
λ 7 % et 10 %			≥ 14.000 MPa (EME1)	
λ 5 % et 8 %			≥ 11.000 MPa (GB 4)	
λ 3 % et 6 %				≥ 14.000 MPa
FATIGUE Déformation relative ε_6 à 10^6 cycles, 10° C et 25 Hz au % de vides compris entre :				
λ 7 % et 10 %	$\geq 80 \times 10^{-6}$	90×10^{-6}	$\geq 100 \times 10^{-6}$ (EME 1)	
λ 5 % et 8 %			$\geq 100 \times 10^{-6}$ (GB 4)	
λ 3 % et 6 %				$\geq 130 \times 10^{-6}$

Tableau 2 - Performances mécaniques comparées des EME et GB

Pour des EME de classe 2, il est fréquent d'obtenir en laboratoire des performances de niveau supérieur à celles préconisées dans la norme et en particulier :

- faible pourcentage de vides $C_{80} \leq 5\%$ à la PCG
- essai DURIEZ : $r/R \geq 0.9$
- résistance à l'orniérage $\leq 5\%$ d'ornière à 30.000 cycles et à 60° C
- module complexe ≥ 15.000 MPa
- tenue en fatigue : ϵ_6 de 130 à 150 μdef .

C'est pour cette raison, que certains produits d'entreprises de type EME, aux performances mécaniques plus élevées que celles stipulées dans la norme pour la classe 2, font l'objet d'Avis Techniques délivrés par le Comité Français pour les Techniques Routières (CFTR).

II - DIMENSIONNEMENT - EPAISSEURS D'UTILISATION

Les épaisseurs moyennes (en cm) de mise en œuvre ainsi que les épaisseurs minimales en tout point sont mentionnées dans le tableau 3. Cette technique performante nécessite un très bon respect des épaisseurs, pour un bon fonctionnement structurel.

Type d'EME	Epaisseur moyenne d'utilisation (cm)	Epaisseur minimale en tout point (cm)
EME 0/10	6 à 8	5
EME 0/14	7 à 13	6
EME 0/20	9 à 15	8

Tableau 3 - Epaisseurs d'utilisation par couche

Ces épaisseurs sont plus faibles que celles des GB : le fait d'être plus riche en liant rend l'enrobé plus maniable et plus structurant à épaisseur égale. Il est également plus imperméable, ce qui permet de le recouvrir directement par un enrobé très mince (BBTM), sans nécessairement utilisée une couche de liaison (A – tableau 4). Par rapport à celui d'une GB, le niveau élevé du module de rigidité réduit les déformations dans le matériau au niveau de la couche inférieure, ce qui est favorable à une réduction de l'épaisseur sous les mêmes sollicitations de trafic. Par ailleurs, les valeurs plus élevées des ϵ_6 à 15° C pour l'EME de classe 2, permettent le calcul de valeurs de déformations admissibles supérieures à celles des GB et ce, malgré un coefficient de calage K_c inférieur (1 au lieu de 1,3 pour une GB).

Le Guide des structures types de chaussées neuves (SETRA/LCPC 1998), pour le réseau routier national, ainsi que le Manuel de conception de SCETAUROUTE, pour les chaussées autoroutières, permettent de faire la comparaison entre les 2 structures (GB, EME) dans les mêmes conditions de trafic et de type de plate-forme (tableau 4).

Guide des structures types de chaussées neuves (SETRA/LCPC 1998)			Manuel de conception de SCETAUROUTE		
RRN structurant TC6* / PF 3** - durée 30ans			R Autoroutier : T0+ / PF3		
Fiche	N° 1 GB 2	- Fiche N° 3 EME 2	Comparaison	GB 3	EME 2
BBTM:	2,5 cm	2,5 cm	BBTM :	2,5	2,5
BBSG:	6,0 cm	6,0 cm	BBME :	5,0	— (A)
Base :	14,0 cm	9,0 cm	Base :	11	10
Fondation:	14,0 cm	10,0 cm	Fondation :	13	10
Epaisseur totale : 36,5 cm		27,5 cm	Epaisseur totale : 31,5 cm		22,5 cm

**Trafic 20 millions d'essieux équivalent 130 KN, **plate-forme PF 3 soit E=120 MPa*

Tableau 4 -Comparaison de structures sur réseau routier nationale et autoroutier (GB – EME)

En cas de renforcement d'une ancienne chaussée par décaissement, on peut obtenir des gains en épaisseur de l'ordre de 3 à 5 cm par rapport à un renforcement en GB + BBSG. L'épaisseur de l'ancienne chaussée à fraiser est ainsi réduite. Par ailleurs, l'EME permet de se dispenser d'une couche de liaison nécessaire dans le cas des GB. Le principe de dissociation des fonctions est ainsi applicable.

Un exemple d'équivalence pour le cas d'un trafic lourd élevé (To), un sol moyen (C2) et une épaisseur d'enrobés de l'ancienne chaussée de 5 à 10 cm figure dans le tableau 5.

Solution de base GB + BBSG		Solution de base EME + BBTM	
BBSG	8,0 cm	BBTM	2,5 cm
GB	10,0 cm	EME classe 2	10,0 à 12,0 cm
Epaisseurs totales : 18,0 cm		13,5 à 14,5 cm	

Tableau 5 - Exemple de renforcements équivalents

Il faut noter que :

- la réduction des épaisseurs doit rester compatible avec un dimensionnement au gel/dégel satisfaisant.

- les EME de classe 2 sont plus rigides, mais ont de meilleures performances en fatigue que les GB de classe 4. Ils pourront être employés chaque fois que l'on recherchera de faibles épaisseurs de chaussée sur des supports déformables, par exemple pour la réfection ou le renforcement de chaussée en traversée d'agglomération, ou lorsque la résistance à l'orniérage est souhaitée.

III - DOMAINE D'EMPLOI – PRECAUTIONS D'USAGE

Les EME offrent une bonne résistance à l'orniérage et constituent donc une solution souvent utilisée en couche de base de 7 à 9 cm d'épaisseur, en répondant à la fois au problème d'apport structural et à l'aspect anti-orniérant.

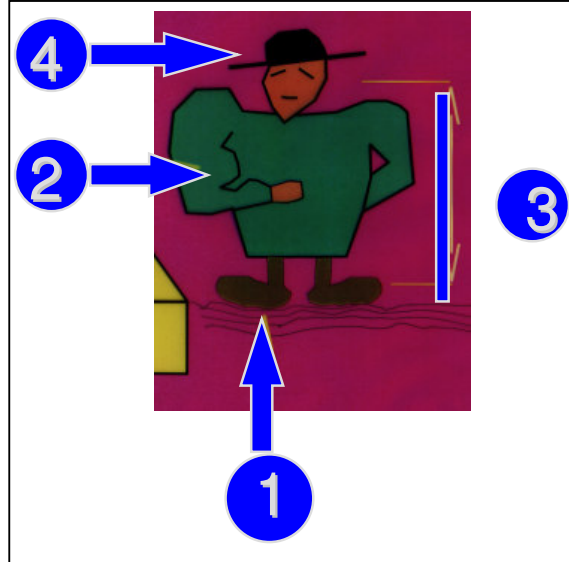
Domaines d'emploi des EME 2 : Le créneau privilégié est celui des travaux neufs et de renforcement fortement sollicités, avec parfois des contraintes de seuil, comme en contexte urbanisé. On peut citer :

- les voies à trafic lourd, canalisé et lent, telles que couloirs de bus,
- les voies spécifiques à trafic très lourd : voie spéciale poids lourds, quai de chargement, piste d'évolution des engins de manœuvre des portes containers,...
- les renforcements de chaussées en décaissement, voiries urbaines ou péri-urbaines,
- les couches de base de chaussée neuve à fondation en GRH, ou les couches d'assise de chaussée bitumineuse épaisse,
- la réfection et le renforcement de voies lentes d'autoroutes après fraisage limité à 8 ou 12 cm d'épaisseur. Une couche de roulement générale, en BBTM par exemple, est ensuite mise en œuvre sur toute la largeur des voies,
- les pistes et zones de circulation des aéroports, lorsque le trafic est important en nombre de mouvement et surtout en charge supportée par chaque roue des trains d'atterrissage. Ces EME 2 sont fréquemment utilisés sur les aéroports français. Le service technique de l'aviation civile (STAC) a rédigé une note d'information ainsi qu'un guide pour préciser les coefficients d'équivalence pour le dimensionnement et le domaine d'emploi spécifique des EME (disponible sur le site internet STAC).

Ce matériau EME2, associé à une couche de roulement en béton bitumineux très mince (2 à 3 cm) constitue l'une des techniques d'entretien les plus fréquentes, pour les chaussées à très fort trafic, puisque dans ce cas, du fait d'un pouvoir structural plus grand, la réduction d'épaisseur peut atteindre 25 %. De plus, la résistance à l'orniérage est excellente et l'on observe un bon maintien des caractéristiques de surface (adhérence, rugosité).

Les principales précautions, concernant la mise en œuvre, doivent être respectées pour permettre un bon comportement de la technique :

- 1 – disposer d'un support de capacité portance suffisante pour assurer une restitution satisfaisante durant le compactage, pour densifier correctement l'EME,
- 2 – les performances mécaniques de l'EME doivent bien entendu, satisfaire les spécifications de la norme, sur notamment la rigidité du matériau,
- 3 – respecter impérativement les épaisseurs moyennes du dimensionnement et surtout limiter les variations d'épaisseur (bon uni du support),
- 4 – assurer une protection superficielle par une couche de surface adaptée au trafic (suivant le principe de dissociation des couches) et au climat notamment hivernal.



Graph 1 : illustration des précautions d'usage des EME

Par ailleurs, une attention particulière doit être également accordée à la réalisation des joints transversaux et surtout longitudinaux, pour éviter tout point faible. On choisira si possible des applications en pleine largeur.

Pour satisfaire les recommandations évoquées ci avant, les contrôles porteront sur les points suivant :

- réception de la plateforme par des mesures de rigidité au déflectographe,
- vérification des performances mécaniques lors de l'étude de laboratoire, la norme EME prévoit dans le niveau 1 (minimum pour tout marché) l'essai de module, en plus de l'essai PCG et résistance à la tenue à l'eau
- contrôles des épaisseurs et du collage des couches par carottages ou mesures de la teneur en vides par nucléodensimètre.

IV - DEVELOPPEMENT DE LA TECHNIQUE : BILAN EN FRANCE, TRANSFERT DE TECHNOLOGIE, ADAPTATION DANS LES PAYS DU MAGHREB

Le bilan des EME est extrêmement positif, comme l'indique l'évolution des tonnages annuels de cette technique. Certes, il est toujours très difficile d'avoir des chiffres précis sur les réalisations. Cependant, les indications du Groupement Professionnel des Bitumes (GPB), recense environ 3 millions de tonnes de bitume pour les applications routières. 50% concerne l'usage des liants de grade inférieur ou égal au 35/50 ; le grade le plus utilisé en France. On peut estimer que les bitumes durs 10/20 ou 15/25, voire 20/30, représentent environ 0,6 million de tonnes, soit un potentiel de l'ordre de 8 millions de tonnes d'EME, parmi les 47 millions de tonnes d'enrobés fabriqués en France. Le tonnage d'EME est en progression constante chaque année. Ceci provient du fait que les travaux d'entretien et de renforcement structurel, croît chaque année, par rapport aux travaux neufs. De plus, le choix se porte préférentiellement vers des techniques bitumineuses performantes. L'usage d'EME en milieu urbain ou péri-urbain est en nette croissance.

Le recul sur cette technique remonte, maintenant à plus de 20 ans d'expérience. Celle-ci est constituée par le comportement des nombreuses réalisations en service, mais également par les expérimentations en semi vraie grandeur sur le manège de fatigue des chaussées du LCPC de Nantes (9 expérimentations : test de différents EME + BBTM en résistance en fatigue, mais aussi à l'orniérage), et de nombreux chantiers pilotes réalisés au milieu des années 80. Un bilan sur le comportement, réalisé dans le cadre de l'Observatoire des Techniques de Chaussée de la direction des routes, a mis en évidence un très bon comportement mécanique sous service et ce après plus de 10 à 15 ans de suivi. A notre connaissance, nous n'avons d'exemple d'expertise de chantiers présentant de mauvais

comportements impliquant des EME. Les EME donnent donc entière satisfaction, à condition de bien respecter les spécifications normatives et les recommandations d'usage.

L'inquiétude que pouvait avoir les ingénieurs routiers, à utiliser des liants trop durs, était une certaine sensibilité à la fissuration thermique et à un accroissement de la rigidité dans le temps du fait d'un durcissement du liant déjà dur. Ces inquiétudes ne sont pas fondées. Il n'a pas été observé de fissurations transversales répétitives, signes de retrait thermique, sur les EME. Les seuls cas particuliers de fissuration ont été expliqués par l'usage de liants anormalement durs ou de certains additifs, et des mauvaises réalisations (non respect des précautions énoncées ci-avant). Avec le temps, il n'est constaté de fissurations thermiques sur les premières réalisations âgées de plus de 20 ans.

De même, des mesures de module en traction sur prélèvements de chantier à la réalisation et après 11 ans d'un trafic important (T0) ont été effectuées et comparées aux valeurs de l'étude de formulation en laboratoire. Il n'a été constaté aucune évolution significative des performances mécaniques et donc aucun problème particulier de durcissement (tableau 6). On notera la très bonne pertinence des études réalisées suivant la méthode française de formulation.

	Etude laboratoire	Chantier 3 mois	Chantier 11 ans
E 10°C – 0,02 s (en MPa)	17 350	17 400	18 300
E 15°C – 0,02 s (en MPa)			15 000
Non linéarité : 1-Γ	0,16	0,28	0,30

Tableau 6 : mesures de module en traction à la MAER, chantier RN2, renforcé par 8 cm EME2 et 2,5 cm BBTM, EME 0/14 continu (70 ;50 ;35 ; passant en % aux tamis de 2 ;6 ;10mm et teneur en bitume dur 6,0ppc), teneur en vides 3%.

Par suite du passage à l'essieu standard européen désormais de 115 KN, de nombreux pays européens ont manifesté un intérêt certain pour ces EME2. Ainsi, les pays, comme le Royaume Uni ou la Pologne ont vu les charges légales augmentées de 20 à 30%. Ils ont donc souhaité renforcer leurs chaussées par des techniques suffisamment souples et performantes pour supporter cette augmentation des sollicitations mécaniques. Des échanges techniques sur les recommandations à suivre, sur les adaptations à prévoir en fonction des matériaux disponibles, mais également des cultures d'entreprise et des conditions climatiques ont été nécessaires pour ajuster la formulation et l'application des EME.

Pour utiliser cette technique, il importe de bien comprendre les fondamentaux : un matériau aux performances élevées, en épaisseur suffisante (déterminée par le dimensionnement), très bien compacté et aux caractéristiques extrêmement régulières (sans point faible : pas de ségrégation, ni de sous épaisseur).

Parmi les exemples de transfert de technologie, on peut citer l'aide technique apportée par le LCPC au laboratoire de Poznan pour implanter les EME en Pologne. Dans le cadre de la coopération franco-polonaise menée depuis 2002 sur les techniques de chaussées, un chantier expérimental (EME + BBTM) a été réalisé à Poznan. La contribution française a porté sur le choix du chantier, la mise au point conjointe des formulations adaptées au

contexte polonais (méthode française de formulation), la définition des spécifications pour le chantier, la mise au point de la fabrication, de la mise en œuvre et des contrôles, le suivi et de la réception des travaux, le comportement dans le temps. Sur le plan du bilan après 2,5 ans de service et deux hivers particulièrement sévères, la partie française s'est félicitée de la qualité générale des échanges, tandis que la partie polonaise a souligné sa satisfaction quant à la technologie transférée. La GDDKiA a annoncé son intention de réaliser prochainement 18 km d'autoroutes en recourant aux EME, témoignant ainsi de la réussite de ce transfert de technologie française. La GDDKiA a également annoncé qu'elle était en train de finaliser un guide technique pour l'utilisation des EME sur chaussée, avec l'appui technique des experts du LCPC.

D'autres pays sont vivement intéressés par les EME, et ont ou vont réaliser, cette année des chantiers soit de type expérimentaux, soit de démonstration technique, en vue de les utiliser couramment. Parmi ceux-ci on peut citer la Belgique, l'Espagne, l'Italie, la République Tchèque. Des pays comme Madagascar, le Brésil, la Colombie souhaitent examiner les conditions de transfert de la technique pour formuler des enrobés plus résistants à l'orniérage et à la fatigue tout en contribuant à un apport structurel intéressant.

Des réalisations d'EME ont été faites loin de la métropole, dans les DOM TOM, comme à la Réunion et à la Guadeloupe.

Adaptation aux pays du Maghreb

Face à l'accroissement permanent de l'agressivité du trafic (tonnage, nombre), présent sur toutes les routes du monde, la technique des EME devient une solution vraiment intéressante pour assurer durablement la fonction structurelle des chaussées. Son application peut être développée sur le réseau routier principal des pays du Maghreb, aussi bien dans les projets de modernisation et de renforcement structurel, que dans celui de la construction neuve d'autoroutes ou de routes à fort trafic. En effet, les EME, en association avec des BBTM, permettent d'améliorer la sécurité des usagers par de meilleures propriétés de surface (rugosité, uni), sur un support résistant à la fatigue et aux déformations permanentes (le profil de la chaussée est conservée sous trafic lourd).

De plus ces EME contribuent aux préoccupations actuelles du développement durable. Car s'ils sont plus performants, ils autorisent une réduction des épaisseurs des couches de chaussées. Les gains en terme de consommation de granulats peuvent représenter, pour les très forts trafics, jusqu'à 30% d'économie de ressources non renouvelables. La diminution des consommations de bitume peut atteindre de 20%, ce qui est un gain très appréciable dans la conjoncture actuelle. A ces économies de consommation, il faut rajouter les gains sur la logistique, le transport et le stockage des matières premières économisées.

Pour la mise au point des formules, les pays du Maghreb disposent d'un atout majeur, celui de la connaissance et de l'usage de la méthode française de formulation des enrobés à chaud. Des laboratoires de l'administration sont équipés des moyens d'essai de formulation. Une coopération avec le LCPC est toujours envisageable pour aider à la mise au point des formulations d'EME et aux transferts des savoir faire, comme cela a été réalisée dans l'exemple présenté ci-avant avec la Pologne.

Les ressources en granulats suffisamment durs, comme ceux déjà utilisés dans la technique des graves bitumes GB existent. Pour les liants, des adaptations sont vraisemblablement à envisager dans un premier temps. Des additifs pourront être incorporés aux bitumes couramment utilisés pour durcir «moyennement» le bitume de classe usuel et par conséquent augmenter le module de l'enrobé et réduire sa sensibilité à l'orniérage. Des grades de bitume «mi dur» comme le 20/30 pourront, par la suite, mieux répondre aux attentes de ces EME. Toutefois, ces EME adaptés aux Pays du Maghreb pourront avoir des performances intermédiaires entre les EME 2 et des GB de classe 3 ou 4 normalisés actuellement en France. Des réflexions sont à mener sur le sujet, pour bien en définir les besoins en terme de performances et savoir ce que l'on doit privilégier en fonction des usages.

CONCLUSION

Les EME constituent une technique bitumineuse moderne, particulièrement performante, pour faire face aux problèmes d'accroissement de l'agressivité du trafic, tout en contribuant au concept du développement durable. La réduction des épaisseurs induit une économie des ressources non renouvelables, une réduction des travaux de décaissement en milieu urbain, ou de mise à niveau des accotements. La diversité de ses applications routières, industrielles (quais, aires de manœuvre) voire dans le domaine des pistes et voies de circulation des aéronefs est un autre atout majeur de son développement. La technique est bien maîtrisée, grâce à un savoir faire de plus de 20 ans d'expérience. Le bilan technique des nombreuses réalisations est particulièrement satisfaisant, aussi la période de transfert de technologie vers les pays étrangers est actuellement bien engagée. D'une manière générale la technologie française : conception de chaussée, méthode de formulation, mise au point de nouveaux liant, de nouveaux matériaux, modèle de calcul, ingénierie public et privé, s'exporte bien à l'étranger, l'exemple de coopération technique avec la Pologne constitue un parfait exemple de cette réussite.

Une coopération technique vers les pays du Maghreb, pour une utilisation d'EME adaptés aux besoins et aux disponibilités présentes, permettrait d'ouvrir des perspectives nouvelles pour les routes à fort trafic, dans un environnement sécuritaire renforcé par une meilleure durabilité des chaussées et un meilleur usage des ressources, dans une bonne maîtrise de la qualité structurelle des chaussées.

Bibliographie

Norme française NF P98-140 sur les EME (novembre 1999)

Les Enrobés à Modules Elevés, Note d'information du SETRA n°96 (04/1997)

Guide d'application des normes pour réseau routier national, SETRA LCPC (04/1994)

Guide technique de conception et de dimensionnement des structures de chaussée, SETRA LCPC (09/1994)

Manuel LCPC d'aide à la formulation des enrobés – Etudes et recherche des LPC n° CR 39 – 2006 - Groupe de travail du RST sous la direction de J.L. Delorme (LCPC).

J.F. Corté (LCPC) - « Development and uses of hard grade asphalt and high modulus asphalt mixes in France » - TRB 2001.

Y. Brosseaud (LCPC), B. Bogdanski (laboratoire des routes GDDKiA, Pologne), D. Carré (Nynas Bitumen) – « Transfert de technologie entre la France et la Pologne: première réalisation d'un chantier de renforcement de route nationale selon le principe de dissociation des couches utilisant : un enrobé à haut module et un enrobé très mince » - Revue Générale des Routes et Aérodrome - N° 816 - avril 2003 – pp 60-67 ; communication Kielce – Pologne 5 au 7 mai 2003.

Y. Brosseaud, B. Bogdanski, D. Carré – "Achieve better roads in Poland while saving resources with french function dissociation concept" – Europeanroads Review – special issue RGRA 2 – février 2004 - pp 43 – 48

Y. Brosseaud, C. de la Roche (LCPC) – « Influence du mode d'élaboration des enrobés bitumineux sur leurs propriétés mécaniques mesurées en laboratoire » – MTBM – Rilem - Lyon 1997.

Y. Brosseaud - «Evolutions et perspectives d'avenir des enrobés à chaud pour l'entretien des chaussées » - Bulletin de liaison des LPC 1994.