

**ENROBES A MODULE ELEVE (EME) ET
BETONS BITUMINEUX A MODULE ELEVE (BBME)
EVOLUTIONS D'UTILISATION**

**REDOUANE NABAOUI
INGENIEUR AU LPPE/CERIT**

SOMMAIRE

I)-Introduction

II)-Opportunités d'utilisation des EME/BBME

II-1-Historique d'apparition des EME/BBME

II-2-Evolution des caractéristiques des EME/BBME

II-3-EME/BBME et développement durable

III)-Fabrication et mise en œuvre des EME/BBME

III-1-Granulats et Fines

III-2-Liants hydrocarbonés

III-3-Formulation de l'enrobé

III-4-Fabrication de l'enrobé

III-5-Mise en œuvre

IV)-Exemples de réalisation des EME/BBME

IV-1-Direction des Routes (DR)

IV-2-Autoroutes du Maroc (ADM)

IV-3-Office National des Chemins de Fer (ONCF)

IV-4-Plates forme portuaires (Tanger Med)

V) Conclusion et Recommandation

I)-Introduction

Dans le monde d'aujourd'hui où la prise en compte du développement durable est devenu une nécessité à tout les niveaux pour un meilleur avenir des générations futures, la construction et l'entretien des corps de chaussée des infrastructures de transport au Maroc peut se faire par le choix d'une technique parmi celles très variées qui respectent les engagements du Maroc vis-à-vis de la notion de développement durable.

Parmi ces techniques, il y en a qui sont anciennes, celles qui ont vu le jour ces dernières années et d'autres qui sont en développement. Ces divers procédés peuvent être énumérés comme suit :

- Enrobés à froid : graves émulsion (GE) ; ECF
- Recyclage à froid : en centrale ou en place
- Recyclage à chaud en centrale
- Recyclage semi-chaud
- Enrobés semi-tièdes
- Enrobés tièdes
- Enrobés à chaud à module élevé (voir très élevés)

Ces derniers, malgré leurs aspects qui rappellent ceux des enrobés à chaud classiques, permettent un gain notable en coût et en délai de réalisation et sont considérés et à considérer comme des solutions optimales vis-à-vis de l'agressivité croissante du trafic et des prescriptions relatives au développement durable.

Dans ce qui suit, les enrobés à module élevé seront traités en soulevant les éléments suivants :

Dans une première partie, un historique de l'apparition de ces matériaux sera donné avec l'évolution de leurs spécifications jusqu'à nos jours. Puis les apports de ces enrobés en terme de développement durable

ensuite, les matériaux de bases pour l'obtention de ces enrobés (granulats et liants hydrocarbonés) seront décrits, ainsi que la conduite d'une étude de formulation des matériaux EME et BBME au laboratoire. Les conditions de fabrication de ces enrobés telles que décrites dans les normes et les règles d'art seront abordées ainsi que les exigences pour une bonne mise en œuvre. Les étapes de suivi de la qualité des composants de ces enrobés, de la fabrication et de la mise en œuvre de ces derniers seront abordés également

Enfin, des cas de réalisation avec ces produits sur quelques chantiers au Maroc (DR, ADM, ...) seront décrits, ainsi que les perspectives d'avenir de l'utilisation de ces produits eu égard à l'agressivité sans cesse croissante du trafic.

II)-Opportunités d'utilisation des EME/BBME

II-1-Historique d'apparition des EME/BBME

A la fin des années 1970, les problèmes d'apparition des ornières sur les enrobés dus à l'augmentation du nombre des poids lourds et de leurs agressivité ont poussé pour la recherche d'un enrobe plus rigide .Cela a été possible grâce à l'utilisation de bitume plus dur. L'enchaînement des dates suivantes donne une idée sur l'évolution des techniques d'enrobés et l'apparition des EME et BBME:

- 1912 : Première application significative des enrobés
- 1924 : Utilisation des bitumes de raffinage
- A partir de 1945 :l'utilisation des enrobés a connu un essor considérable avec la mécanisation de la mise en œuvre et l'évolution de l'agressivité du trafic.
- Années 1960 : Les techniques d'enrobés ont commencé à être codifiées (Directives)
- 1968 : Apparition de la GB et du BBSG
- 1975 : Les bitumes modifiés feront leur entrée, ces bitumes seront normalisés en 2003
- 1982 : Utilisation du bitume dur 10/20 en Europe pour enrobé en couche de base (EME) qui sera généralisé en 1988, les bitumes durs seront normalisés en 2003
- 1990 : Les enrobés feront l'objet de normalisation en France
- 1991 : Edition de la norme française sur l'EME
- 1993 : Edition de la norme française sur le BBME
- 2007 : Apparition des normes européennes pour les enrobés

Le domaine d'emploi des enrobés EME et BBME est celui des travaux neufs et de renforcement où la chaussée est fortement sollicitée et cela respectivement en couche d'assise (EME)et en couche de liaison (EME ou BBME) ou de roulement(BBME), que ce soit pour les routes, autoroutes, les quais et aires de manœuvres des ports, pistes et voies de circulation des aéroports

L'EME doit être couvert par une couche d'enrobé d'épaisseur minimale de 2 cm, il s'agit généralement d'un BBTM, un BBM ou un BBME.

II-2-Evolution des caractéristiques des EME/BBME

EME :

Désignation	Norme	Epaisseur (cm)		Module de richesse	% vide PCG à 100g	Duriez RH/Rs	Ornière à 30000 cycles et à 60°C % vide 3/6	Module complexe (MPa) à 15°, 10Hz NF P, 98-260-2	Fatigue à 10° et 25Hz NF P98-261-1 (µdef)	Compaction (% vid
		Moy.	Min							
EME 0/14 classe 1	NF P 98-140 Déc. 1991									
	NF P 98-140 Oct. 1992	7/12	6	≥2,5	≤10	≥0,70	≤8	≥14000	≥100	≤10
	NF P 98-140 Nov. 1999	7/13	6	≥3,4	≤10	≥0,70	≤7,5	≥14000	≥100	≤10
	NF EN 13108-1 Fév. 2007			(1)	(2)			(3)		
EME 0/14 Classe 2	NF P 98-140 Déc. 1991									
	NF P 98-140 Oct. 1992	7/12	6	≥3,4	≤6	≥0,75	≤8	≥14000	≥130	≤6
	NF P 98-140 Nov. 1999	7/13	6	≥3,4	≤6	≥0,75	≤7,5	≥14000	≥130	≤6
	NF EN 13108-1 Fév. 2007			(1)	(2)			(3)		
GB 0/14 Classe 3	NF P 98-138 Nov. 1999	8/12	6	2,8	≤10 et > 14 pour 10g	0,70	≤10 (10 00 0 C)	≥9000	≥90	≤9
GB 0/14 Classe 4	NF P 98-138 Nov. 1999	8/12	6	2,9	≤9 et > 14 pour 10g	0,70	≤10 (10 00 0 C)	≥11000	≥100	≤8

NB: Existe aussi EME 0/20 et 0/10

(1)EB dont ces caractéristiques complémentaires avec le fuseau (Caractéristiques **empiriques**) peuvent être explicitées au lieu des fondamentales

(2)EB dont ces caractéristiques avec classe granulaire (Caractéristiques **générales**) sont à expliciter

(3)EB dont ces caractéristiques complémentaires (Caractéristiques **fondamentales**) peuvent être explicitées au lieu des empiriques

BBME :

Désignation	Norme	Epaisseur (cm)		Module de richesse	% vide PCG à 10 et 80g	Duriez RH/Rs	Ornière à 30000 cycles et à 60°C % vide 3/6	Module complexe (MPa) à 15°, 10Hz NF P, 98-260-2	Fatigue à 10° et 25Hz NF P98-261-1 (µdef)	Compa chant (% vi
		Moy	Min							
BBME 0/14 Classe 1	NF P 98-141 Nov. 1993	7/9	6	3,3	≥11 et 4/9	≥0,8	≤10	≥9000	≥110	4/9
	NF P 98-141 Nov. 1999	6/9	5	3,3	≥11 et 4/9	≥0,8	≤10	≥9000	≥110	4/8
	NF EN 13108-1 Fév. 2007			(1)	(2)			(3)		
BBME 0/14 Classe 2	NF P 98-141 Nov. 1993	7/9	6	3,3	≥11 et 4/9	≥0,8	≤8	≥12000	≥100	4/9
	NF P 98-141 Nov. 1999	6/9	5	3,3	≥11 et 4/9	≥0,8	≤7,5	≥12000	≥100	4/8
	NF EN 13108-1 Fév. 2007			(1)	(2)			(3)		
BBME 0/14 Classe 3	NF P 98-141 Nov. 1993	7/9	6	3,3	≥11 et 4/9	≥0,8	≤5	≥12000	≥100	4/9
	NF P 98-141 Nov. 1999	6/9	5	3,3	≥11 et 4/9	≥0,8	≤5	≥12000	≥100	4/8
	NF EN 13108-1 Fév. 2007			(1)	(2)			(3)		
BBSG 0/14 Classe 2	NF P 98-138 Nov. 1999	6/9	5	3,2	≥11 et 4/9	≥0,75	≤7,5	≥7000	≥100	4/8
BBSG 0/14 Classe 3	NF P 98-138 Nov. 1999	6/9	5	3,2	≥11 et 4/9	≥0,75	≤5	≥7000	≥100	4/8

NB: Existe aussi BBME 0/10

(1)EB dont ces caractéristiques complémentaires avec le fuseau (Caractéristiques **empiriques**) peuvent être explicitées au lieu des fondamentales

(2)EB dont ces caractéristiques avec classe granulaire (Caractéristiques **générales**) sont à expliciter

(3)EB dont ces caractéristiques complémentaires (Caractéristiques **fondamentales**) peuvent être explicitées au lieu des empiriques

II-3-EME/BBME et développement durable

La comparaison des caractéristiques des enrobés EME/BBME vis-à-vis de celles des GB3 ou 4 et des BBSG 2 ou 3 montre le niveau de performance élevé (imperméabilité (%vide), tenue à l'eau, déformation, rigidité et fatigue) des premiers. Le dimensionnement des corps de chaussée en utilisant ces matériaux amène à l'adoption d'épaisseurs de couches moins importantes et par la suite de faire des gains considérables : jusqu'à 25% sur l'épaisseur totale, 30% pour les quantités des granulats et 20% pour les quantités de liants, plus le gain en logistique (transport et stockage)

Cela amène à une économie financière des projets, avec une Protection de l'environnement (moins de granulats fabriqués et utilisés pour une ressource non renouvelable) et moins de gêne pour les utilisateurs de la route (intervalle de temps entre les moments d'entretien plus long).

III)-Fabrication et mise en œuvre des EME/BBME

III-1-Granulats et fines (EN 13043 d'Aout 2003 et XP P 18-545 de Février 2004)

Les granulats utilisés pour la réalisation des couches de chaussées doivent répondre à des spécifications relatives aux caractéristiques intrinsèques des granulats et à, celles liées à leurs fabrications. Elles dépendent :

- De la technique utilisée
- Du niveau de la couche de matériau par rapport à la surface de la chaussée
- Du trafic poids lourds

Les exigences sont croissantes avec l'intensité du trafic et la proximité de la surface de la chaussée

Les normes spécifient les catégories minimales suivantes :

	Couche de roulement	Couche de liaison	Couche de base	Couche de fondation
Résistance mécanique (LA et MDE, PSV)	Code C (LA25-MDE20-PSV50)	Code D (LA30-MDE25)	Code D (LA30-MDE25)	Code D (LA30-MDE25)
Caractéristiques fabrication des gravillons	Code III	Code III	Code III	Code III
Caractéristiques fabrication des sables	Code a	Code a	Code a	Code a
Angularité des gravillons et des sables	Code Ang 1 (C95 et Ecs38)	Code Ang 3 (C50 et Ecs30)	Code Ang 3 (C50 et Ecs30)	Code Ang 3 (C50 et Ecs30)

Les fines quant à elles sont définies par leurs granulométrie, masse volumique réelle, valeur au bleu, porosité rigden et le delta Bille-Anneau

C'est granulats doivent faire l'objet d'un suivi régulier et à cadence explicitée de leurs qualité à la carrière avec bonne maitrise de la gestion des stocks à la carrière et au niveau du poste d'enrobage

III-2-Liants hydrocarbonés

Divers types de liants peuvent être utilisés pour ces enrobés et qui sont comme suit :

Les bitumes purs (EN 12591 de Décembre 2009)

C'est un bitume obtenu par divers procédés de raffinage à partir de bruts pétroliers. Il ne comporte aucun ajout destiné à en modifier la consistance.

(*)Classes de bitumes purs 20/30 et 35/50

Spécifications de bitumes routiers de grades	unité	méthode	Désignation des classes appropriées	
			20/30	35/50
Pénétrabilité 25°C	0.1mm	EN 1426	20-30	35-50
Point de ramollissement (TBA)	°C	EN 1427	55-63	50-58
Résistance au durcissement RTFOT		EN 12607-1		
Variation de masse maxi	%		0.5	
Péné restant après durcissement Mini	%	EN 1426	55	53
TBA après durcissement Mini	°C	EN 1427	57	52
Augmentation maxi de TBA après durcissement	°C	EN 1427	8	8

(*) : Norme EN2591 de Décembre 1999. Une nouvelle version a été publiée en Décembre 2009

C'est généralement le 20/30 qui est utilisé pour les EME/BBME pour cette catégorie de bitume

Les bitumes spéciaux

Bitumes spéciaux normalisés : Bitumes durs (EN13924 de Décembre 2006)

Ce sont des bitumes purs obtenus par un procédé de raffinage direct et dont la pénétrabilité est inférieure à 25 1/10mm. La température bille-anneau varie généralement entre 62°C et 72°C. La température Fraass est voisine de 0°C (+3°C à -8°C). Ils correspondent généralement aux bitumes de classes 10/20 et 15/25

Bitumes spéciaux non normalisés

Ce sont des bitumes non normalisés, autres que des bitumes modifiés, répondant à des usages spécifiques routiers. On peut citer :

-Les bitumes à susceptibilité améliorée : Ce sont des bitumes purs de fabrication spéciale, dont la pénétration à 25°C correspond à celle d'un grade normalisé (35/50 ou 50/70 par exemple), mais dont la température bille-anneau est généralement supérieure à la limite normalisée pour le grade correspondant. La température Fraass est également plus basse que celle des bitumes purs de grade équivalent. ($< -15^{\circ}\text{C}$).

-Les bitumes anti-ornières

Les bitumes modifiés (EN 14023 de Mars 2006)

Ils sont à adopter pour les couches de roulement (BBME) en vue d'une meilleure résistance au vieillissement du matériau entre autres.

Les bitumes modifiés sont des liants bitumineux dont les propriétés ont été modifiées par l'emploi d'un agent chimique, qui, introduit dans le bitume de base, en modifie la structure chimique et les propriétés physiques et mécaniques. Ils sont préparés avant emploi dans une unité spécialisée.

Les agents chimiques comprennent le caoutchouc naturel, les polymères synthétiques, le soufre et certains composés organométalliques. Ils ne comprennent pas l'oxygène, les catalyseurs d'oxydation, les fibres, les poudres minérales, les agents d'adhésivité.

Les liants modifiés élastomères :

On distingue les mélanges physiques et les bitumes élastomères obtenus par réticulation.

Les mélanges physiques sont généralement hétérogènes à une échelle de quelques micromètres. La finesse de la structure des bitumes élastomères va directement intervenir sur la stabilité du mélange à chaud et sur ses propriétés physiques sur toute la gamme de températures.

Les bitumes élastomères réticulés ont une structure résultant d'une double forme de liaisons extrêmement fine, de l'ordre du micromètre. Cette réaction est irréversible.

Les bitumes élastomères réticulés ont par rapport au liant initial, des résistances en traction plus élevées, ainsi que des raideurs et des ductilités augmentées.

La modification du bitume par des élastomères induit des différences de comportement rhéologique. Par rapport au bitume pur, le BmP SBS présente, à basse température, des modules plus faibles, donc une meilleure flexibilité. La situation s'inverse à hautes températures. Pour un bitume donné, cette modification du comportement rhéologique, dépend de la nature et de la teneur en polymères.

Les liants modifiés plastomères :

Les bitumes copolymères d'éthylène (EVA, EMA, EBA):

Aux faibles teneurs en polymères (<5%), la modification des propriétés est due essentiellement à l'augmentation de la teneur en asphaltènes de la phase bitume.

Dans ce cas, le choix du bitume d'origine est prépondérant.

Aux fortes teneurs en polymères, on a affaire à un polymère plastifié par une fraction des maltènes du bitume et c'est le choix du polymère qui conditionne les propriétés du liant. On constate une diminution de la pénétrabilité et une forte augmentation de la température bille-anneau.

Les bitumes poly-iso butylène :

L'addition de PIB aux bitumes routiers en diminue la fragilité à froid.

L'utilisation conjointe de PIB et d'EVA permet d'améliorer simultanément le comportement à haute et basse température.

A l'exception des liants PIB-EVA, les mélanges bitumes copolymères sont rarement stables au stockage. (Sauf pour des teneurs <3% EVA et pour des liants à faible teneur en asphaltènes). Il est nécessaire d'agir ou de réticuler le liant.

Les bitumes caoutchouc :

Les bitumes caoutchouc non stockables

Fabriqué à partir de poudrette de caoutchouc obtenue par râpage de caoutchouc naturel et synthétique, le bitume caoutchouc présente un caractère élastomérique, une haute viscosité à haute température et une bonne flexibilité à basse température.

Les bitumes caoutchouc stockables

Fabriqué à partir de déchets broyés de pneumatiques de camions et de voitures, d'une huile lourde et d'un élastomère synthétique, le bitume caoutchouc présente un très fort allongement à la rupture à basse température.

La qualité du bitume modifié et par conséquent les propriétés de l'enrobé qui en résultent ne sont pas seulement fonction de la teneur en polymères.

Les essais sur bitumes

Les principaux essais qui permettent de caractériser les liants hydrocarbonés sont décrits sommairement ci-dessous.

Essais de pénétrabilité (EN1426)

La pénétrabilité est la mesure de la profondeur d'enfoncement d'une aiguille dont la géométrie et l'état de surface sont fixés (diamètre de 1 mm et angle du cône de 9° 10'), sous une charge de 100g pendant 5s. Elle est exprimée en 1/10ème de millimètre.

Cette valeur sert à classer les bitumes. Un bitume de garde 50/70 a une pénétration à 25°C comprise entre 50 1/10ème et 70 1/10ème de mm.

Température bille-anneau (EN1427)

Un disque de bitume est coulé dans un anneau de 19 mm de diamètre interne, on place une bille d'acier de masse de 3,5 g et de diamètre 9,5 mm sur cet anneau. L'ensemble est placé dans un bécher rempli d'eau à 5°C. On élève la température selon une loi fixée (5°C par minute). Le disque de bitume se ramollit et lorsque la bille le traverse, on note l'indication du thermomètre.

Cet essai est un bon indicateur du comportement à haute température de service, et pour les bitumes purs il est en relation avec la résistance à l'orniérage.

Essai Fraass (EN 12593)

Le résultat de cet essai donne la température à laquelle un film de liant étalé sur une plaque métallique souple se fissure sous l'effet de flexions répétées.

Essai de durcissement RTFOT (EN 12607-1)

Un film de bitume dans un cylindre en rotation à 163°C pendant 90min est soumis à une oxydation par injection d'un jet d'air.

Il ne s'agit pas d'un essai proprement dit mais d'un mode de préparation qui simule le phénomène relativement violent qui se produit lors de l'enrobage lorsque le bitume entre en contact en présence d'air avec des granulats à haute température.

Il ne représente pas le vieillissement à cours ou moyen terme du liant.

Retour élastique (NF EN 13398) : pour bitume modifié

Il permet de caractériser la capacité du liant à retrouver ses caractéristiques géométriques d'origine à la suite d'une déformation : étirement sur 20 cm appliquée à une vitesse de 50 mm par minute et à une température fixée entre 10 et 25 °C

Il est déterminé à l'aide d'un essai de laboratoire utilisant un appareillage similaire à celui de l'essai de ductilité

III-3-Formulation de l'enrobé

Contenu de l'épreuve de formulation

- Choix des constituants et vérification de leurs propriétés
- Définition des Compositions minérales
- Définition du module de richesse minimal (Dosage minimal de liant selon la surface spécifique du mélange minéral)
- Niveau d'étude
- Vérification des performances fixées

Objectifs d'une épreuve de formulation

Etablissement, pour une composition donnée, des caractéristiques suivantes :

Pourcentage de vides (PCG)

Tenue à l'eau (Duriez)

Résistance à la déformation permanente

Performances mécanique si nécessaire : orniérage, module et fatigue.

Niveau d'étude

Le niveau d'épreuve de formulation est spécifié en fonction des objectifs recherchés, de l'enjeu du chantier, de son volume et de l'importance des diverses sollicitations auxquelles sera soumis l'enrobé.

Approche pratiquée à ce jour

Niveau épreuve de formulation	Tenue à l'eau (NF P 98-251-1)	PCG (NF P 98-52)	Orniérage (NF P 98-253-1)	Module (NF P 98-260-2)	Résistance en fatigue (NF P 98-261-1).
Niveau 1	x	x			
Niveau 2	x	x	x		
Niveau 3	x	x	x	x	
Niveau 4	x	x	x	x	x

Nouvelle approche (Norme NF EN 13108-1 et NF EN 13108-20)

Niveau épreuve de formulation	Exigences empiriques		Exigences générales			Exigences fondamentales	
	Teneur en liant (NF EN 12697-1)	Courbe granulo (NF EN 12697-2)	Tenue à l'eau (NF EN 12697-12)	PCG (NF EN 12697-31)	Orniérage (NF EN 12697-22)	Module (NF EN 12697-26)	Fatigue (NF EN 12697-24)
Niveau 0	x	x					
Niveau 1	x	x	x	x			
Niveau 2	x	x	x	x	x		
Niveau 3			x	x	x	x	
Niveau 4			x	x	x	x	x

La durée de validité des études de formulation dépend de la réglementation dans chaque pays, elle est de trois ans en France et de cinq ans en Europe

Les dosages en bitume sont généralement comme suit :

	EME 2	BBME 2	GBB 3	BBSG
% Bitume	5.4/5.8	5.2/5.6	4.5/4.8	5.4/6

Des difficultés sont constatées parfois afin d'obtenir le module et la résistance à la fatigue en même temps vu que ces deux caractéristiques sont antagonistes dans un certain sens. Des études sont en cours dans le but d'examiner la possibilité d'introduire une sorte de règle de compensation entre ces deux caractéristiques dans la limite des tolérances de la reproductibilité de ces essais

III-4-Fabrication de l'enrobé (NF P 98-150-1 de Janv. 2008)

Elle commence par la vérification de la fiabilité de la centrale de fabrication moyennant l'examen du niveau d'équipement de cette dernière et l'étalonnage des systèmes de pesage pondéraux ou volumétriques et des systèmes de relevé des températures

Après réception de la qualité des matières premières (granulats et bitumes), la fabrication de l'enrobés peut être entamée et les éléments suivants doivent être examinés :

Température granulats : Min : min exigé pour le bitume utilisé ; Max : 180 °C

Température enrobés:

Catégorie du bitume	Température de fabrication (°C)
40/50	150/170
20/30-	160/180
15/25-10/20	160/180

Granulométrie des enrobés :

	Teneur en liant	%< 63 μ m	%<Tamis mailles fines (0,5mm)	%<2 mm	%< D/2 mm	%<D mm
Ecart moyen autorisé(*)	$\pm 0,3\%$	$\pm 1\%$	$\pm 2\%$	$\pm 3\%$	$\pm 4\%$	$\pm 4\%$

(*) Moyenne de quatre échantillons, tolérances par rapport à la formule du mélange de l'étude

III-5-Mise en œuvre (NF P 98-150-1 de Janv. 2008)

La mise en œuvre des enrobés intervient pour une part importante dans les qualités requises pour une couche de chaussée .Après réception du matériel de mise en œuvre et de transport des enrobés, la réalisation des planches d'essai et de référence, les caractéristiques à contrôler sont comme suit :

-Préparation du support :

Reprofilage ou fraisage préalable

Exécution d'une couche d'accrochage

-Température enrobés:

Catégorie du bitume	Température de fabrication (°C)	Température min de répandage (°C)	Température de fin de compactage (°C)
40/50	150/170	130	110
20/30-	160/180	140	115
15/25-10/20	160/180	145	Fournisseur

-Etalage des enrobés

Pour ce genre d'enrobés, il est recommandé d'avoir un finisseur avec table à haut pouvoir de pré-compactage (HPC) et cela afin d'optimiser le temps de compactage en fonction de la température requise

-Epaisseur :

C'est un des paramètres important dans la réussite de la technique des enrobés à module élevé vu que les épaisseurs au dimensionnement sont déjà faibles et qu'une légère sous épaisseur entraîne un sous dimensionnement de la structure du corps de chaussée

-Compactage :

L'objectif étant de réduire le pourcentage de vides du matériau afin d'augmenter sa stabilité, ses performances mécaniques et la durée de vie. Les valeurs à obtenir du pourcentage moyen de vide sont citées ci-dessus dans le chapitre caractéristiques des enrobés EME et BBME. Toutes les valeurs de pourcentage de vides devant se situer dans une fourchette qui est arrêtée lors d'une planche de référence et dont l'étendue ne dépasse pas 6%

-Spécifications vis-à-vis de la sécurité :

Cela concerne l'uni de chaque couche du corps de chaussée mise en œuvre afin d'obtenir à la fin sur la couche de roulement l'uni souhaité

De même, des spécifications sur la rugosité (Hauteur au sable : PMT) et d'adhérence (CFT et CFL) concernant la couche de roulement sont demandées

Le tableau suivant résume les contrôles à réaliser en fonction de la couche concernée

	Teneur en vide	Epaisseur	Collage	Profils en long	Profils en travers	Uni	Rugosité	Adhérence
Assise/ liaison	X	X	X	X	X			
Roulement	X	X	X	X	X	X	X	X

IV)-Exemples de réalisation des EME/BBME

IV-1-Direction des Routes (DR)

Année	Nature des travaux	Chantier	Structure
2005	Renforcement	Contournement de Rabat	10 EME+10 EME+5 BBME (Bitume 10/20 et BmP pour BBME)
2008	Renforcement	RN9 : PK87/125	8cm retraitement à froid en place + 6cm BBME 0/14
2009/2010	Travaux neufs	RR320 : PK23/35 (dédoublement)	20GNF+20GNA+8EME 0/14+2.5BBTM

IV-2-Autoroutes du Maroc (ADM)

Année	Nature des travaux	Chantier	Structure
2007	Renforcement	Autoroute Khemisset-Oued Beht	6 cm EME2 0/14 (VL après fraisage)+ 6 cm BBSG0/14
2008	Renforcement	Autoroute Kenitra-Larache, VD	7 cm EME2 0/14 (VL après fraisage)+ 6 cm BBME3 0/14
2008	Renforcement	Autoroute Khemisset-Meknès, VD	4 cm BB 0/10 de reprofilage+6 cm BBME3 0/14
2009	Renforcement	Autoroute Kenitra-Larache, VG	7 cm EME2 0/14 (VL après fraisage)+ 6 cm BBME3 0/14
2009	Renforcement	Autoroute Khemisset-Meknès, VG	7 cm EME2 0/14 (VL après fraisage)+ 6 ou 8 cm BBME3 0/14
2009	Travaux neufs	Autoroute Argana-Amskroud	35cm CDF+25 GNT+(10+11) EME2 0/14 + 2.5BBTM 0/10
2009/ 2010	Renforcement	Autoroute Casa-Settat	0 ou 8 ou 10 ou 13 cm EME2 0/14 (VL après fraisage) +6 cm BBME3 0/14+6 cm BBME3 0/14
2010	Renforcement	Elargissement Autoroute Casa-Rabat	12cm EME2 0/14 (VL après fraisage) +2.5BBTM 0/10

IV-3-Office National des Chemins de Fer (ONCF)

Année	Nature des travaux	Chantier	Structure
2007/2008	Travaux neufs	Port sec Mita de Casablanca	20GNF+20GNA+12EME 0/14+6BBME 0/14 EME avec Bitume 10/20 et BBME avec Bitume modifié.

IV-4-Plates forme portuaires (Marsa Maroc, Tanger Med)

Année	Nature des travaux	Chantier	Structure
2009	Travaux neufs	Tanger-Med ; Voirie SAS-EST	EME 0/14 classe 1 et 2 avec bitume 10/20 BBME 0/10 classe 3 avec bitume modifié

V) Conclusion et Recommandation

L'utilisation des enrobés à module élevé et spécialement l'EME de classe 2 permet un gain considérable en épaisseur de couche par rapport aux solutions classiques de part leurs rigidité et résistance à la fatigue élevées. Cela a pour conséquence une économie de ressources naturelles non renouvelables (granulats et liants), ce qui permet de classer les techniques utilisant ces enrobés parmi celles qui rentrent dans le cadre du développement durable

Leurs utilisations en construction neuve ou en renforcement (après fraisage éventuel) nécessite de prendre en considération certaines précautions :

Une **bonne** température de l'enrobé au répandage pour faciliter le compactage vu que le bitume de ces enrobés est un bitume dur moins maniable que lors de l'utilisation d'un 40/50

Un respect total de l'épaisseur de mise en œuvre de ces enrobés vu qu'une légère sous épaisseur a un impact significatif sur le déficit structurel du corps de chaussée

Un support peu déformable surtout pour les couches supérieures et un examen de la surface après fraisage éventuel pour vérifier la non existence de matériaux décohésionnés restant collés à cette surface ou d'une interface très proche de la surface après fraisage

L'utilisation pour l'EME d'un bitume plus dur (15/25 voir un 10/20) dans les sections à forte pente et/ou à trafic très agressive

La Couverture systématique de l'EME par une couche d'enrobés d'épaisseur minimale de 2 cm

L'utilisation systématique d'un bitume modifié pour le BBME de roulement (afin d'éviter son vieillissement par oxydation due aux radiations solaires)