



Performances des EME et BBME : bilan des études de formulation

Par M. Khalid EL AZDI

PLAN DE L'EXPOSÉ

- **Introduction**
- **Démarche de l'étude de formulation**
- **Considérations de délai**
- **Considération de coût**
- **Spécifications**
- **Bilan des études de formulation**
- **Conclusion**

Introduction

- Les EME et BBME sont venus répondre à un besoin lié à l'accroissement du trafic, à son agressivité, à l'indisponibilité des matériaux, ...
- La formulation de ce type d'enrobés est réalisée en suivant un processus de laboratoire visant à rechercher la composition optimale permettant d'atteindre les meilleures performances possibles ou du moins les exigences fixées par les cahiers des charges ou les normes produits correspondantes.
- Quel est ce processus?, Quels résultats obtient-on ? Quels enseignements à tirer des données disponibles?

Démarche de l'étude de formulation

Objet: définir la composition granulaire, le pourcentage de liant et éventuellement celui des ajouts permettant d'atteindre les performances requises.

Après une première phase d'identification des intrants, l'épreuve de formulation comprend des séquences d'essai adaptées. Ainsi, il est possible de distinguer quatre niveaux de formulation :

Niveau 1 : Il consiste à examiner le pourcentage des vides à la **Presse à cisaillement giratoire** et la **tenue à l'eau** du mélange. Le niveau 1 est suffisant dans les cas courants de trafics faibles ou moyens sans sollicitations particulières.

Niveau 2 : Il comprend les essais de niveau 1, complétés par un **essai d'orniérage**. Il correspond aux formules destinées à des chaussées soumises à des contraintes particulières, en relation avec des problèmes d'orniérage tel le cas d'une chaussée supportant un trafic élevé, un trafic lent, canalisé ou en épaisseur forte.

Niveau 3 : Introduit en plus un essai à caractère structurel destiné à déterminer le **module de rigidité** dans des conditions fixées.

Niveau 4 : Ce niveau prend en compte la **résistance à la fatigue**.

Le niveau 0 correspond à la phase d'identification des matériaux de base et la composition du mélange granulaire.



Considérations de délai des études

- Peut varier de quelques jours à quelques semaines en fonction du niveau de l'étude et du nombre d'itérations (ajustements).
- Les niveaux 3 et 4 sont ceux qui prennent le plus de temps

Niveau	Essai	Quantité	Durée de l'essai	Préparation	Durée totale y/c préparation
0	Masse volumique des granulats	3 Kg / fraction	1j	Séchage	2 j
	Analyse granulométrique	3 Kg /fraction	1 j	Séchage	2 j
1	Duriez	20 Kg	8 j	Séchage + mélange	10 j
	PCG	30 Kg	1 j	Séchage + mélange	2 j
Total niveau 1		40 à 60 Kg			12 j
2	Orniérage - 2 plaques - 30 000 cycles	50 Kg	3 j	Confection + murissement + Mva	7j
Total niveau 2		110 Kg			15 j
3	Module complexe - $\frac{3}{4}$ fréquences	80 Kg	4 j	Confection + sciage + murissement + Mva + collage	18 j
Total niveau 3		200 Kg			21 j
4	Fatigue	200 Kg	15 j	Confection + sciage + murissement + Mva + collage	25 j
Total niveau 4		400 Kg			30 j



Considérations de délai des études

Les délais incompressibles présentés sont souvent rallongés pour les raisons suivantes:

- La plupart des entreprises routières ne disposant pas de leurs propres carrières fait que la phase de recherche de carrières, d'établissement des contrats fournisseurs, de réglage des concasseurs, d'établissement des fuseaux de régularité est consommatrice d'une grande partie de ce délai de trois mois et l'étude de formulation est souvent entamée en fin de la période de préparation ;
- Le bitume, notamment lorsqu'il s'agit de bitume modifié, est fourni par des fournisseurs de l'entreprise adjudicataire avec toutes les difficultés de coordination que cela suppose pour produire un bitume devant conduire aux performances requises du premier coup ;
- Les spécifications sont parfois inadaptées car ne tiennent pas en compte les caractéristiques des matériaux disponibles dans la région.

Considérations de coût des études

Le coût des études de formulation est lié au nombre des essais à réaliser, au nombre de jours homme nécessaires et à l'investissement en équipement très important pour les essais de niveau 3 et 4 notamment

Désignation	Quantité
Analyse granulométrique d'un granulat	15
Mesure de coefficient d'aplatissement d'un granulat	10
Mesure de la propreté superficielle d'un granulat	10
Extraction et analyse granulométrique sur fraisât	5
Essai Los Angeles	2
Essai micro deval	2
Essai au bleu de méthylène d'un sable	5
Essai d'équivalent de sable à 10% de fines	5
Essai de friabilité des sables	1
Coefficient d'écoulement du sable	1
Indice des vides RIGDEN	1
Pouvoir absorbant des fines	1
Pouvoir rigidifiant des fines	1
Masse volumique réelle pré séchée	1
Masse volumique réelle des granulats	3
coefficient du polissage accélère	1
Détermination Pourcentage des surfaces cassées dans les gravillons	10
Pénétrabilité	1

Point de ramollissement bille et anneaux	1
Densité relative à la méthode du pycnomètre	1
Perte de la chaleur	1
Point d'éclair	1
Ductilité à 25°C	1
Retour élastique	1
Stabilité au stockage	1
RTFOT	1
Point de fragilité fraass	1
essai d'adhésivité des granulats	1
PCG	3
Essai duriez	2
Essai d'orniérage	1
Essai de module complexe	1
Résistance à la fatigue	1
Total des essais	88 à 93

Rappel des spécifications

Enrobé à module élevé EME :

Module de richesse :

Classe d'EME 0/10-0/14 ou 0/20	EME classe 1	EME Classe 2
Module de richesse minimal K	2,5	3,4

Pourcentage des vides :

Essai de compactage à la PCG	EME classe 1	EME Classe 2
- à 80 girations pour un EME 0/10		
- à 100 girations pour un EME 0/14	≤ 10%	≤6%
- à 120 girations pour un EME 0/20		



Performances mécaniques :

Essai de compactage à la PCG	EME classe 1	EME Classe 2
Rapport r/R (Essai Duriez)	≥0,70	≥0,75
Essai d'orniérage		≤7,5%
Module complexe à 15°C, 10 Hz		≥14 000
Essai de fatigue (déformation à 10 ⁶ cycles, 10°C, 25 Hz)	≥100	≥130

Rappel des spécifications

Béton bitumineux à module élevé BBME :

Module de richesse :

Type du BBME	BBME 0/10	BBME 0/14
Module de richesse minimal K	3,5	3,3

Pourcentage des vides :

Essai de compactage à la PCG	BBME 0/10	BBME 0/14
- à 10 girations	≥11%	≥11%
- à 60 girations	5 à 10%	--
- à 80 girations	--	4 à 9%

Performances mécaniques :

Essai de compactage à la PCG	Classe 1	Classe 2	Classe 3
Rapport r/R (Essai Duriez)		=>0,80	
Essai d'orniérage	≤10%	≤7,5%	≤5%
Module complexe à 15°C, 10 Hz	≥ 9 000	≥ 12 000 (NF P98-141) ou ≥ 11 000 (NF EN13108-1)	
Essai de fatigue (déformation à 10 ⁶ cycles, 10°C, 25 Hz)	=>110	=>100	

Bilan des études de formulation

- ✓ Il s'agit de l'analyse et l'exploitation des données issues des études réalisées entre 2013 et 2017 à l'occasion de divers chantiers et à travers tout le Maroc. Un ensemble de 50 études de formulation ont été examinées. Elles sont relatives aux produits bitumineux suivants :
 - 19 études de formulation d'EME 0/14 ;
 - 11 études de formulation de BBME 0/10 ;
 - 20 études de formulation de BBME 0/14 ;
- ✓ Pour chacune des études mentionnées, ont été examinés successivement :
 - Sur le plan du mélange minéral : les pourcentages des différents granulats, le pourcentage des agrégats d'apport, les ajouts de ciment ou de filler ;
 - Sur le plan du liant utilisé : sa classe, sa pénétrabilité, son point de ramollissement bille et anneau, son retour élastique quand cela est requis ainsi que le pourcentage adopté dans le mélange et le module de richesse correspondant ;
 - Sur le plan des performances mécaniques : les caractéristiques Duriez, PCG, orniérage, module et fatigue.

Cas de l'EME

Classe granulaire et granulométrie :

- ✓ Une seule formule d'EME0/10, toutes les autres correspondent à un EME0/14 classe 2.
- ✓ Dans les formules étudiées, le recours aux agrégats d'enrobés reste relativement limité (5 formules sur 19 soit près de 20% des cas étudiés).
- ✓ Trois à quatre classes granulaires sont utilisés pour la composition du mélange minéral : un à deux sables et deux gravillons. Le recours à un deuxième sable est requis quand le premier n'est pas suffisamment fillerisé

N° Formule	S1	S2	S1+S 2	G1	G2	%fine s	<2mm	<6,3mm
F1-2	45		45	25	30	6,4	31	49
F1-4	45		45	30	25	6,9	31	56
F1-6	35		35	30	35	5,8	28	45
F1-7	45		45	20	35	7,7	31	48
F1-9	40	15	55	15	30	5,1	26	54
F1-10	50		50	20	30	5,5	29	61
F1-11	50		50	20	30	6,9	31	56
F1-12	50		50	20	30	6,6	30	58
F1-13	45		45	25	30	4,9	33	52
F1-14	45		45	30	25	7,4	24	54
F1-15	40	15	55	20	25	5,3	29	56
F1-16	45		45	30	25	5,2	29	52
F1-18	45	15	60	15	25	5,3	33	54
F1-19	30	20	50	25	25	5,4	35	58
Min			35	15	25	4,9	24	45
Max			60	30	35	7,7	35	61
Moyenne			48	23	29	6,0	30	54

Cas de l'EME

Classe granulaire et granulométrie :

- ✓ Dans le cas du recours aux **agrégats** (fraisât) dont l'apport est fixé à 20% car au-delà, des études spécifiques sont nécessaires, le sable ou les sables constituent près de 35% du mélange et le complément (45%) est apporté par les deux autres gravillons. Le taux de fines, les passants à 2 mm et à 6,3 mm sont sensiblement les mêmes que ceux obtenus dans le cas de formules sans agrégats.

N° Formule	S1	S2	S1+S 2	G1	G2	Fraisât t	%fine s	<2m m	<6,3m m
F1-1	25	10	35	20	25	20	6,1	31	52
F1-3	35		35	20	25	20	5,4	31	56
F1-5	32		32	20	28	20	6,4	35	55
F1-8	35		35	20	25	20	6,4	34	54
F1-17	25	10	35	25	20	20	6,8	32	57
Min			32	20	20	20	5,4	31	52
Max			35	25	28	20	6,8	35	57
Moyenne			34	21	25	20	6,2	33	55

Cas de l'EME

Classe et teneur en bitume :

- ✓ Le bitume utilisé pour la série des études de formulation examinées est exclusivement un bitume pur de classe 20/30 avec une pénétrabilité allant de 20 à 28 1/10 mm et une température bille et anneaux variant de 57 à 63 °C avec une moyenne de 59°C.

N° Formule	Pénétrabilité (en 1/10 mm)	Température bille et anneaux (en °C)	% bitume	module de richesse
F1-1	28	57	5,8	3,60
F1-2	23	59,5	5,8	3,49
F1-3	22	60	5,6	3,65
F1-4	20	59	5,6	3,63
F1-5	26	61,5	5,85	3,71
F1-6	23	59,5	5,6	3,63
F1-7	20	61	5,7	3,52
F1-8	28	58	5,8	4,81
F1-9	20	58	5,8	3,88
F1-10	22	58	5,6	3,65
F1-11	21	59	5,8	3,69
F1-12	25	58,6	5,2	3,28
F1-13	20	63	5,7	3,69
F1-14	20	61,8	5,7	3,68
F1-15	20	61,8	5,7	3,72
F1-16	25	58,4	5,7	3,80
F1-17	23	58,4	5,8	3,72
F1-18	28	58,6	5,8	3,74
F1-19	22	58	5,6	3,6
Min	20	57	5,2	3,28
Max	28	63	5,9	4,81
Moyenne	23	59	5,7	3,71

Cas de l'EME

Compactabilité à la PCG :

- ✓ Le pourcentage de vides à 100 girations varie, pour les formules étudiées, entre 2 et 6% avec une moyenne de 4% si l'on exclut la formule F1-12.
- ✓ Ces niveaux de vides sont compatibles avec celui préconisé par la norme correspondante qui est de 6% pour un EME de classe 2.

N° Formule	compacité 100G
F1-1	97
F1-2	95
F1-3	98
F1-4	98
F1-5	98
F1-6	97
F1-7	97
F1-8	95
F1-9	95
F1-10	97
F1-11	--
F1-12	90
F1-13	94
F1-14	95
F1-15	95
F1-16	94
F1-17	95
F1-18	95
F1-19	94
Minimum	90
Maximum	98
Moyenne	95

Tenue à l'eau: Essai Duriez

- ✓ Pour toutes les formules, l'essai Duriez permet d'atteindre des résistances à sec variant de 11,7 à 18,5 MPa avec des rapports Rh/Rs très homogènes de 0,8 à 0,9.
- ✓ En effet, l'essai Duriez pour ce type de formule ne paraît pas être très discriminant et les résultats obtenus sont presque toujours conformes aux exigences en termes de sensibilité à l'eau.

N° Formule	Rs	Rh/Rs
F1-1	13,4	0,8
F1-2	14,5	0,8
F1-3	13,4	0,8
F1-4	15,4	0,9
F1-5	14,6	0,8
F1-6	13,2	0,8
F1-7	15,4	0,8
F1-8	15,0	0,8
F1-9	16,3	0,8
F1-10	18,5	0,9
F1-11	14,2	0,8
F1-12	16,3	0,7
F1-13	12,2	0,8
F1-14	14,9	0,8
F1-15	11,7	0,8
F1-16	13,7	0,8
F1-17	12,1	0,8
F1-18	14,2	0,9
F1-19	15,3	0,8
Min	11,7	0,8
Max	18,5	0,9
Moyenne	14,4	0,8

Résistance à l'orniérage

- ✓ La résistance à l'orniérage à 30 000 cycles pour les formules étudiées varie 1,13 à 5,28%. Ces valeurs sont, pour toutes les formules, inférieures au seuil exigé par la norme qui est de 7,5%.
- ✓ Remarquer que la formule F1-12 qui n'était pas compactable à la PCG a donné une bonne résistance à l'orniérage.

N° Formule	prof ornière 30 000 cycles en %
F1-1	1,25
F1-2	2,46
F1-3	1,13
F1-4	3,16
F1-5	1,9
F1-6	5,28
F1-7	2,28
F1-8	2,25
F1-9	2,22
F1-10	1,64
F1-11	2,68
F1-12	1,99
F1-13	2,6
F1-14	2,12
F1-15	3,29
F1-16	4,46
F1-17	3,37
F1-18	1,47
F1-19	1,92
Min	1,13
Max	5,28
Moyenne	2,50

Cas de l'EME

Module et résistance à la fatigue

- ✓ Les valeurs de module et fatigue présentées dans le tableau ci-dessous sont
 - Conformes pour un EME classe 2 pour 15 formules sur 19,
 - Non conformes pour 4 formules sur 19 : 3 cas pour le module et 1 cas pour la fatigue.
- ✓ La fatigue n'est pas demandée par certains CPS, ce qui est une erreur.

N° Formule	Module en MPa	Fatigue en micro déf
F1-1	15 205	138
F1-2	15 868	
F1-3	14 691	133
F1-4	14 957	133
F1-5	15 778	141
F1-6	13 250	132
F1-7	16 142	
F1-8	15 389	136
F1-9	14 844	113
F1-10	16 404	
F1-11	16 591	
F1-12	14 273	
F1-13	10 596	
F1-14	16 704	
F1-15	15 457	
F1-16	14 619	132
F1-17	14 180	134
F1-18	12 092	
F1-19	14 288	133
Min	10 596	113
Max	16 704	141
Moyenne	14 807	132

Cas du BBME

Classe granulaire et granulométrie :

- ✓ Les classes granulaires choisies pour le BBME sont soit un 0/10 soit un 0/14.
- ✓ Dans les formules étudiées, les courbes du mélange sont caractérisées par :

	BBME 0/10			BBME 0/14		
	Min	Max	Moyenne	Min	Max	Moyenne
% des fines	5,0	7,5	6,0	4,3	6,6	5,6
Passants à 2 mm	24,0	34,7	29,4	25,0	33,0	29,5
Passants à 6,3 mm	53,1	73,0	62,8	46,0	59,0	53,0

Cas du BBME

Classe et teneur en bitume :

- ✓ Le bitume utilisé est dans la plupart des cas un bitume modifié. Un bitume dur de classe 20/30 est également utilisé. Dans le cas de recours à un bitume modifié, les valeurs du retour élastique se situent entre 62 et 94% avec une moyenne de 75%.
- ✓ La teneur en bitume pour les deux classes de BBME se situe entre 5,2 et 6,1 avec une moyenne de 5,7% pour le BBME 0/10 et 5,4% pour le BBME 0/14.

Formule	Classe	type bitume	pene	tba	Retour élastique	% bitume	module de richesse
F2-2	0/10	20/30	22	58	--	5,7	3,75
F2-11	0/10	20/30	22	58	--	5,83	3,64
F3-7	0/14	20/30	25	58	--	5,5	3,54
F3-17	0/14	20/30	23	58,4	--	5,4	3,47
F3-19	0/14	20/30	21	59,8	--	5,6	3,92
F2-1	0/10	BM	32	61	76	6,1	3,63
F2-3	0/10	BM	27	70	88	5,7	3,6
F2-4	0/10	BM	35	71	63,5	5,5	3,54
F2-5	0/10	BM	33	86,5	76	5,6	3,6
F2-6	0/10	BM	33	86,5	76	5,5	3,56
F2-7	0/10	BM	26	76,8	62	5,5	3,37
F2-8	0/10	BM	40	70,4	81	5,4	3,53
F2-9	0/10	BM	37	86,5	86	5,6	3,64
F2-10	0/10	BM	33	60,2	69	5,8	3,64
F3-1	0/14	BM	--	78,4	89	5,4	3,44
F3-2	0/14	BM	--	78,4	89	5,4	3,46
F3-3	0/14	BM	27	61,0	--	5,7	3,65
F3-4	0/14	BM	21	91,0	94	5,4	3,52
F3-5	0/14	BM	20	80,0	79	5,5	3,68
F3-6	0/14	BM	27	81,0	90	5,3	3,53
F3-8	0/14	BM	20	78,0	86	5,7	3,53
F3-9	0/14	BM	29	75,0	75	5,4	3,46
F3-10	0/14	BM	30	87,5	94	5,6	3,45
F3-11	0/14	BM	21	81,0	75	5,5	3,54
F3-12	0/14	BM	12	70,8	75	5,2	3,61
F3-13	0/14	BM	42	60,0	62	5,3	3,61
F3-14	0/14	BM	18	81,5	75	5,6	3,68
F3-15	0/14	BM	33	75,2	75	5,3	3,44
F3-16	0/14	BM	35	62,0	71	5,2	3,67
F3-18	0/14	BM	--	87,4	84,5	5,6	3,6
F3-20	0/14	BM	25	68,8	69	5,2	3,52
Minimum			12	58	62	5,2	3,37
Maximum			42	91	94	6,1	3,92
Moyenne			27	73	78	5,5	3,57

Cas du BBME

Compactabilité à la PCG :

- ✓ Le pourcentage des vides à 10 girations pour toutes les formules est supérieur à 11% préconisé par la norme et le pourcentage à 60, 80 et 100 girations se situe entre 5,3 et 8,1%.

Formule	Classe	comp 10G	comp 60G	comp 80G	comp 100G
F2-2	0/10	84,6	90,9	--	--
F2-11	0/10	82,5	89,9	--	--
F3-7	0/14	84,4	--	93,2	--
F3-17	0/14	82,7	--	91,1	91,9
F3-19	0/14	83,2	94,4	--	96,6
F2-1	0/10	85,8	93,1	--	--
F2-3	0/10	82,7	90,8	--	93,0
F2-4	0/10	82,9	90,1	91,3	--
F2-5	0/10	82,8	91,4	92,8	--
F2-6	0/10	82,9	91	92,3	--
F2-7	0/10	86,8	93,6	--	95,5
F2-8	0/10	87,1	93,9	--	95,8
F2-9	0/10	83,1	90,9	92,2	--
F2-10	0/10	81,4	89,4	--	--
F3-1	0/14	87,1	--	--	95,4
F3-2	0/14	85,1	--	--	93,3
F3-3	0/14	85,3	--	--	94,5
F3-4	0/14	84,1	--	92,1	--
F3-5	0/14	85,0	--	93,7	--
F3-6	0/14	84,0	--	91,7	--
F3-8	0/14	85,8	--	94,9	--
F3-9	0/14	87,8	--	96,3	--
F3-10	0/14	84,3	--	93,4	--
F3-11	0/14	84,4	--	92,9	--
F3-12	0/14	86,6	94,5	95,6	--
F3-13	0/14	85,8	93,6	--	94,7
F3-14	0/14	86,9	95,4	--	96,3
F3-15	0/14	85,2	92	92,8	--
F3-16	0/14	87,2	94,9	96,1	--
F3-18	0/14	83,8	90,4	91,1	--
F3-20	0/14	86,0	93,7	94,9	--
Minimum		81,4	89,4	91,1	91,9
Maximum		87,8	95,4	96,3	96,6
Moyenne		84,8	92,3	93,2	94,7

Cas du BBME

Tenue à l'eau: Essai Duriez :

- ✓ Pour toutes les formules, le rapport r/R satisfait aux conditions de la norme sur les BBME ($>0,8$) à l'exception d'une seule formule où ce rapport est de 0,77.

Formule	Classe	Rs	Rh/Rs
F2-2	0/10	16,57	0,81
F2-11	0/10	15,82	0,85
F3-7	0/14	12,47	0,86
F3-17	0/14	11,82	0,80
F3-19	0/14	17,24	0,77
F2-1	0/10	13,5	0,82
F2-3	0/10	11,21	0,85
F2-4	0/10	14,08	0,80
F2-5	0/10	11,96	0,80
F2-6	0/10	10,22	0,82
F2-7	0/10	11,22	0,87
F2-8	0/10	14,48	0,81
F2-9	0/10	10,17	0,84
F2-10	0/10	16,37	0,86
F3-1	0/14	13,90	0,83
F3-2	0/14	13,50	0,83
F3-3	0/14	14,50	0,84

Formule	Classe	Rs	Rh/Rs
F3-4	0/14	13,52	0,85
F3-5	0/14	14,27	0,81
F3-6	0/14	12,60	0,80
F3-8	0/14	13,41	0,83
F3-9	0/14	14,70	0,81
F3-10	0/14	12,33	0,8
F3-11	0/14	16,18	0,84
F3-12	0/14	17,74	0,85
F3-13	0/14	13,28	0,83
F3-14	0/14	14,30	0,87
F3-15	0/14	13,99	0,81
F3-16	0/14	13,08	0,81
F3-18	0/14	14,30	0,85
F3-20	0/14	12,34	0,81
Minimum		10,17	0,77
Maximum		17,74	0,87
Moyenne		13,71	0,83

Cas du BBME

Résistance à l'orniérage

- ✓ Pour toutes les formules testées, la profondeur d'orniérage à 30 000 cycles est largement respectée puisqu'elle se situe entre 1,39 et 3,39% correspondant à une spécification pour un BBME de classe 3 (<5%).

Formule	Classe	prof ornière 10000	prof ornière 30000
F2-2	0/10	--	1,49
F2-11	0/10	1,91	2,67
F3-7	0/14	--	2,47
F3-17	0/14	1,91	2,96
F3-19	0/14	2,61	3,09
F2-1	0/10	--	3,39
F2-3	0/10	1,18	1,39
F2-4	0/10	--	1,87
F2-5	0/10	2,36	2,79
F2-6	0/10	1,13	1,39
F2-7	0/10	1,55	2,31
F2-8	0/10	2,1	2,67
F2-9	0/10	1,65	1,97
F2-10	0/10	1,84	2,47
F3-1	0/14	--	3,18
F3-2	0/14	--	2,48
F3-3	0/14	--	3,34

Formule	Classe	prof ornière 10000	prof ornière 30000
F3-4	0/14	--	2,04
F3-5	0/14	--	1,97
F3-6	0/14	--	2,77
F3-8	0/14	--	2,22
F3-9	0/14	--	1,92
F3-10	0/14	--	2,44
F3-11	0/14	--	1,40
F3-12	0/14	--	--
F3-13	0/14	2,36	2,82
F3-14	0/14	2,05	2,4
F3-15	0/14	1,62	2,33
F3-16	0/14	2,06	3,19
F3-18	0/14	1,54	2,2
F3-20	0/14	2,01	2,57
Minimum		1,13	1,39
Maximum		2,61	3,39
Moyenne		1,87	2,41

Cas du BBME

Module et résistance à la fatigue

- ✓ Pour commenter les résultats obtenus, il est à noter que la plupart des cahiers des charges font référence à un BBME classe 2 donc un module supérieur à 12 000 MPa et une résistance à la fatigue supérieure à 100 micro-déf.
- ✓ Sur les 31 formules de BBME testées, près du tiers (10 formules) n'ont pas permis d'atteindre le module requis. Il se situe dans ce cas entre 7000 et 11 000 MPa.
- ✓ A noter que du fait que la plupart des cahiers des charges n'exigent qu'une étude de niveau trois, il n'a pas été possible d'analyser statistiquement les valeurs de fatigue obtenues. Les trois formules pour lesquelles le niveau d'étude a été de 4 sont toutes supérieures à 100 micro-déf.

Formule	Classe	Bitume	Module	Fatigue
F2-2	0/10	20/30	12 343	--
F2-11	0/10	20/30	13 167	128
F3-7	0/14	20/30	12 951	--
F3-17	0/14	20/30	12 469	144
F3-19	0/14	20/30	14 156	--
F2-1	0/10	BM	12 067	--
F2-3	0/10	BM	8 800	--
F2-4	0/10	BM	7 179	--
F2-5	0/10	BM	10 626	--
F2-6	0/10	BM	8 739	--
F2-7	0/10	BM	9 493	--
F2-8	0/10	BM	13 061	--
F2-9	0/10	BM	9 260	--
F2-10	0/10	BM	12 387	--
F3-1	0/14	BM	13 952	--
F3-2	0/14	BM	12 240	--
F3-3	0/14	BM	12 415	--

Formule	Classe	Bitume	Module	Fatigue
F3-4	0/14	BM	12 317	--
F3-5	0/14	BM	12 855	--
F3-6	0/14	BM	14 533	--
F3-8	0/14	BM	12 703	--
F3-9	0/14	BM	10 333	--
F3-10	0/14	BM	12 170	--
F3-11	0/14	BM	12 154	--
F3-12	0/14	BM	10 600	--
F3-13	0/14	BM	13 282	--
F3-14	0/14	BM	11 474	--
F3-15	0/14	BM	12 205	--
F3-16	0/14	BM	12 081	--
F3-18	0/14	BM	12 445	164
F3-20	0/14	BM	10 394	--
Minimum			7 179	128
Maximum			14 533	164
Moyenne			11 769	145

Conclusion

- **Mener des études de formulation pour les produits type EME et BBME suppose la réalisation d'un nombre considérable d'essais. Le délai et le coût de ces études est à prendre en compte lors de la planification des travaux.**
- **Les données précédemment exposées et qui découlent des études de formulation réalisées au cours des cinq dernières années au LPEE permettent de conclure à ce qui suit :**
 - **L'étude de la compactabilité à la PCG permet de faire un premier choix de la composition à tester. Cet essai ne présente pas, en général, une difficulté particulière pour aboutir à une formule compactable.**
 - **L'essai de sensibilité à l'eau, ne paraît pas, sur la base des études réalisées, être un essai suffisamment discriminant. Par contre, il nous semble plus pertinent, pour l'évaluation de la sensibilité à l'eau, de vérifier l'affinité liant-granulat à travers l'essai d'adhésivité.**
 - **Le recours à des formules présentant moins de 50% de sable et un passant à 2 mm ne dépassant pas 30% aide à s'affranchir du phénomène d'orniérage.**
 - **Les performances mécaniques : module et fatigue, ne sont pas toujours facilement atteintes et plusieurs tentatives sont souvent nécessaires pour y arriver. Dans ce sens, il est à préciser que :**

Conclusion

- Le module de l'EME fixé à 14 000 MPa est généralement atteint surtout quand on a recours à un bitume dur. La résistance à la fatigue, quand elle est demandée, est plus ou moins facilement obtenue.
- Le module du BBME fixé à 12 000 MPa est, quant à lui, plus difficilement atteignable et l'étendue des valeurs obtenues est importante (7 000 à 12 000 MPa).

Les formules validées l'ont été avec des valeurs dépassant de très peu 12 000 MPa.

Se pose la question de la pertinence de cette spécification ou du moins son niveau si l'on tient compte que cet enrobé est destiné à la couche de roulement (Faut il aller vers un BBME de classe 1 avec un orniérage de classe 2?)

il nous semble que la résistance à l'orniérage, en plus d'être nécessaire, est suffisante pour assurer un bon comportement de la couche de roulement. La recherche de couches trop rigides en surface peut d'ailleurs conduire à un vieillissement plus rapide et une fissuration par le haut de ce type d'enrobés.

Recommandations

- ✓ **Mieux tenir en compte le délai et le coût des études de formulation dans la planification et l'exécution des travaux ;**
- ✓ **Encourager l'organisation des carrières et des usines de modification des liants pour assurer une régularité à même de favoriser le recours à des formules pré-étudiées. Une simple vérification des intrants avec quelques essais mécaniques pourraient être dans ce cas suffisants ;**
- ✓ **Réfléchir sur les spécifications à adopter notamment en ce qui concerne le module exigé pour les BBME. Les études de dimensionnement ou les études de variantes se feront alors sur la base des valeurs de module arrêtées.**

Merci pour votre attention