

CONTRIBUTION A L'ETUDE DU COMPORTEMENT
D'UN BETON BITUMINEUX ET DE FORMULATION
D'UN ENROBE SOUPLE

Abdelaziz DAHBI
Directeur du centre National
d'Etudes et de Recherches Routières
D R C R

I - INTRODUCTION :

Les bétons bitumineux utilisés au Maroc pour les couches de roulement sont caractérisés par un comportement rigide, expliqué par un module de rigidité élevé : ce comportement rigide se traduit par l'apparition de fissuration et l'absence de déformation surtout sur les supports non liés.

Afin de pallier à ce risque de fissuration, on teste une formulation discontinue dite Hote-Rolled-Asphalt caractérisée par son aptitude à suivre les déformations de la structure du corps de chaussée.

Pour cela, on examine certains paramètres dont il faut tenir compte et qui permettent de faire une comparaison de comportement entre la formulation classique et la nouvelle formulation.

II - MATERIAUX DE BASE :

A - Le bitume

Le bitume avec lequel a été faite cette étude (utilisé pour les deux formulations) est à la base d'un brut d'origine d'Arabie Saoudite, il a été fabriqué suivant le processus du souflage, c'est à dire porté à une oxydation assez forte.

Les résultats obtenus à partir des différents essais appliqués sur ce bitume sont résumés dans le tableau suivant.

Tableau des Résultats

	MODE OPERATOIRE		RESULTATS	SPECIFICAT- ION AFNOR
	AFNOR	L.C.P.C.		
pénétration	NFT 66004		41	40 à 50
à 25° C				
à 34° C			67	
à 49° C			176	
bille et an-	NFT 66008		69°C	47 à 60
neau(point de				ramolissement
ramolissement				
IP P/TBA		RL BI	+ 2,3	
TP P/P		RL B7	+ 2,9	+ 2,9
point de			-23°C	
FRAAS densité	NFT 66007		1,024	1,00 à 1,01
à 25°C				
% d'asphalte-		RL B8	18,7%	
nes ductilité				
à 25° C, 50mm/	NFT 66006		6 cm	60 cm
m résistance				
au seuil			0,9 kg	
résistance à				
la rupture			0,9 kg	
perte à 163°C	NFT 66001		0,08%	1
pénétration			38	
résiduelle %				
de pénétrat-			93%	70
ion restante				
adhésivité				
(10 / 14)		avant-projet	90	
viscosités en				
poises 6°C=70			2,4.104	
90			2.103	
110			1,5.102	
130			34	
150			10,5	
170			4,2	
190			1,9	
210			0,9	

Commentaire :

C'est un bitume dur de classe 40/50 qui est faiblement susceptible à la température, et n'a pas le comportement des bitumes routiers classiques:

- Pénétrabilité correcte
- La valeur de Bille et Anneau est élevée
- Le point de FRASS est faible
- La valeur de la ductilité est très faible
- % D'asphaltes élevé
- Pénétration résiduelle correcte
- Viscosité : à 2 paisses la température d'enrobage est élevée

C'est un bitume soufflé qui est un fluide newtonien très visqueux à haute température et peu fragile aux basses températures.

B - Les granulats

Les résultats des différents essais effectués sur les granulats utilisés pour les 2 formulations peuvent être résumés dans le tableau suivant :

Essais effectués	! GC ! 2/6	! GC ! 6/10	! GC ! 10/14	! SC ! 0/4	! SC ! 0/1	! SR ! 0/1
Equivalent de sable	! -	! -	! -	! 60%	! 47%	! 65%
E.Bleu de méthylène V.B	! - !	! - !	! - !	! - !	! 0,1 !	! 0,25 !
E.Micro-deval M.D	! 10,5%	! 10,5%	! 10,5%	! -	! -	! -
E.Los Angeles L.A	! 19%	! 19%	! 19%	! -	! -	! -
E. De forme coef. d'applat.glob C.A	! 17,7% !	! 17,4% !	! 14,4% !	! - !	! - !	! - !

avec : G.C : graves concassées
S.C : sable concassé
S.R : sable roulé

2 - Commentaire:

Les analyses granulométriques révèlent qu'aussi bien pour les graves que pour les sables 0/4, les classes débordent leurs limites nominales par exemple pour 6/10, elle contient des éléments de dimension supérieure à 10 mm.

Pour ce qui est de la propreté des trois sables utilisés dans les deux formulations, on peut dire que les résultats d'équivalent de sable sont tous supérieurs à la valeur imposée par les normes l'essai au bleu de méthylène confirme. Pour les 3 classes de grave, la valeur de G/E est supérieure à 1,65 ce qui implique la bonne forme des granulats. Pour la résistance mécanique elle est satisfaisante.

Donc le mauvais criblage des classes constitue le seul inconvénient pour ces granulats.

III - LA FORMULATION

La formulation d'un enrobé est établie en fonction de l'utilisation prévue (couche, trafic) et des ressources locales ou régionales. L'étude de formulation d'enrobé est basée sur l'examen en laboratoire des caractéristiques qui ont été jugées importantes pour les enrobés sous trafic, il s'agit de

- * la composition granulométrique
- * la propreté des sables
- * la teneur en fines à introduire
- * La teneur en liant à retenir pour le mélange.

DEFINITION :

La teneur en liant = $K \text{ Vs } E.X$
= $0,25.G + 2,3.S + 12.s + 135.F$ en m_2/kg = surface spécifique.

avec G = proportions pondérales des éléments supérieurs à 6 mm

s = proportions pondérales des éléments compris entre 0,315 et 0,08 mm

f = proportion pondérales des éléments inférieurs à 0,08 mm

K: Module de richesse variant de :

- * 2 à 2,5 pour les graves bitumes
- * 3,45 à 3,90 pour les bétons bitumineux

X: Coefficient correcteur destiné à tenir compte de la masse volumique des granulats

$$X = \frac{2,55}{\text{masse volumique du granulat}}$$

* enfin les caractéristiques des essais d'écrasement.

Les granulats utilisés dans la présente étude sont tous de provenance de Oued-AKrech, les classes qui constituent l'enrobé sont :

1er cas :

Formulation continue, la formule retenue est la suivante:

-Sable de concassage	0/4	45%
-grave concassée	4/6	25%
-grave concassée	6/10	

Cette formulation continue va être appelée formulation I

2ème cas :

Formulation discontinue; si le chevauchement des classes n'a pas posé de problèmes pour la première formule dans la deuxième il était impossible d'obtenir une formule qui s'introduit dans le fuseau voulu, du fait que les classes n'étaient pas disjointes. De ce fait, il était obligé d'introduire dans la formule un sable 0/1 de Mamoura la formulation qui était retenue est :

-sable de concassage	0/1	45%
-sable roulé	0/1	20%
-grave concassée	6/10	15%
-grave concassée	10/14	20%

Le fuseau utilisé dans ce cas est un fuseau Anglais correspondant à la formulation du Hot-Rolled-Asphalt qu'on va appeler formulation II.

IV - LES ESSAIS :

A - Les essais traditionnels

Afin de pouvoir comparer les deux formulations, un certain nombre d'essais a été effectué, tels que.

1 - Essai Duriez de compression simple :

Il permet de repérer les caractéristiques (compacités, résistance) d'un enrobé hydrocarbonné dont la compression répond à certaines spécifications. En faisant appel à des processus d'essai plus complexe (essai à différentes températures et différentes vitesses d'écrasement), il permet de mettre en évidence la susceptibilité au temps de charge du matériau.

Les résultats de ces essais sur les deux formules, continue 0/10 et discontinue 0/14, avec le dosage obtenu à partir de la surface spécifique de chacune, sont résumés dans le tableau suivant..

!Essai d'immersion ! compression !	!Formule ! I ! 0/10	!Formule ! II ! 0/14	!Specification pour ! une chouche de ! roulement
!compacité "LCPC"en%! ! -MINIMALE ! -MAXIMALE	! 94 ! !	! 94 ! !	! 91 ! ! 95
!résistance à la ! en 105 pa	! 74 !	! 77 !	! 70 !
!rapport immersion ! compression I.C	! 0,855 !	! 0,857 !	! 0,75 !

Commentaire :

Les résultats obtenus tant pour les formules continues que discontinues sont satisfaisantes. Le rapport IC est un peu plus fort pour la formule continue. Ceci s'explique par le fait que la formulation discontinue a une proportion de 65% de sable par rapport à 45% pour la formulation continue. Par contre la résistance à la compression est plus élevée pour la deuxième formule. Mais cette résistance à 7 jours immergé et 24h à l'air chute pour la formule continue d'environ 6% tandis que pour la formule discontinue la chute est de 15%.

2 - Essai Marshall:

Son but est de déterminer, pour un compactage donné, la "stabilité" et le "fluage" Marshall d'une éprouvette de dimensions déterminées. Il est applicable à tous les enrobés à chaud ne comportant pas de granulats de dimensions supérieures à 20 mm.

Après avoir fait l'essai Marshall à différents dosages en bitume, les teneurs en bitume qui donnent les stabilités optimales et des fluages faibles sont :

!	!Teneur en bitume! ! 40 / 50	! Stabilité! !	! Fluage en ! 1 / 10 mm	!
!Formule I(0/10)	! 5,9 %	!1260	! 2,8	!
!Formule II(0/14)	! 6,6 %	!1180	! 2,9	!

Donc à partir de l'essai Marshall les dosages à adopter sont:
5,9 % pour la formulation continue
6,6 % pour la formulation discontinue

Commentaire :

On remarque que les résultats stabilité et fluage sont sensiblement identiques pour les deux formules. Ainsi un fluage Marshall de l'ordre de 3,0 est satisfaisant pour un enrobé. Ces formules sont elles sensibles ou non au fluage ou à l'orniérage? à ce stade expérimental rien ne peut être conclu on doit faire appel à une autre méthode d'essai plus concluant et tranchant pour de tels problèmes.

B - Essais spécifiques :

Le laboratoire de Ponts et Chaussées a mis au point des matériels et des procédures d'essais pour apprécier les caractéristiques que doivent posséder les enrobés, mais aussi pour déterminer les données nécessaires aux dimensionnements des chaussées.

1 - Presse à cisaillement giratoire (P.C.G.) :

Cet essai permet de se faire une idée sur la compacité que l'enrobé aura en place compte tenu de l'épaisseur de la couche des corrélations entre les résultats relatifs à cet essai et ceux relatifs à un simulateur de compactage pneumatique réel montrent l'existence de bonnes relations entre les courbes de compactage du simulateur et celles relatives à la P.C.G.

Enrobé en 4 cm	: 1 passe = 2,2 girations
Béton bitumineux en 8 cm	: 1 passe = 5 girations

Par comparaison du comportement du simulateur à celui d'un compacteur à pneumatique, puis en rapprochant ces résultats de ceux obtenus à l'aide de compacteurs vibrants, il est alors possible de donner le degré de généralisation souhaitable aux résultats obtenus à l'aide de la P.C.G.

Cette corrélation est possible puisque la représentation de la compacité en fonction du nombre de passe ou en fonction de giration donne deux routes linéaires donc la corrélation consiste à trouver une transformation ponctuelle permettant de passer d'une droite à l'autre.

La représentation de la compacité en fonction du nombre de giration est donc une droite de la forme.

$$C (\%) = C_1 + K \lg (n_i)$$

dans laquelle

C_1 : semble représenter la mise en place initiale du mélange bitumineux.

kl : semble représenter l'évolution possible du compactage après mise en place du matériau.
 c(%) : la compacité pour ni girations.

Les corrélations entre la P.C.G est un compacteur pilote pneumatique ont abouti à la relation suivante

$$ni = 0,625 \times e \times np$$

avec : ni = nombre de girations P.C.G
 : np = nombre de passe du compacteur
 : e = épaisseur en cm

Les correlations entre un compacteur vibrant (qui est d'une efficacité très supérieure à celle des compacteurs à pneus) et la P.C.G ont donné une relation de la forme.

$$ni = k \times e \times np$$

avec k est un facteur dépendant essentiellement de la nature du compacteur.

Donc l'essai a une grande importance dans la mesure exacte de la compacité réelle d'un enrobé.

Commentaire :

Les résultats des essais effectués sur les deux formulations nous ont permis de déterminer les paramètres de la relation $c = f(ni)$ qui se résume dans le tableau suivant :

!LIANT : T		!FORMULES	!	!C = Kl M (n) + Cl		
!	.C	!	kl	SK	Cl	SC
!40/50	:160	!0/10 con-	!5,120	!0,060	!84,5	!0,204
!		!tinu 0/14	!2,905	!0,035	!77,5	!0,176
!		!discon-	!	!	!	!
!		!tinue	!	!	!	!

Il est logique que C1 pour la formule discontinue soit inférieure à C1 pour la formule continue du fait que la première a une densité faisonnée on précise que C1 représente la mise en place initiale du mélange bitumineux. Par contre ce fait d'avoir K1 pour la formule continue supérieure a K1 pour la formule discontinuées surprenant. Il semble que K1 est lié directement à la valeur de C1 c'est à dire l'évolution de la compacité est fonction de la structure granulaire du mélange et de mise en place initiale, les directives de L.C.P.C pour les couches de roulement en béton bitumineux sont : la compacité qu'on doit avoir pour de telles enrobés est telle que 91 CM 95.

Dans notre étude on obtient:

:	:	: compacite	

:	girations	:	10 : 40
:	F1	:	89,3 : 96,4
:	F2	:	90,5 : 94,5

Dans le cas de formulation continue la compacité déborde de part et d'autre des compacités normalisées ce qui peut expliquer l'apparition des fissures avant la fin de la durée de vie estimée surtout si on saisi que la portance est étroitement liée a la compacité.

Dans le deuxième cas les compacités sont dans la gamme désirée. Une comparaison avec l'essai Duriez montre que pour arriver à la compacité Duriez il faut 8 et 10 girations pour la formulation discontinue et 20 à 30 girations pour la formulation continue ce qui montre la facilité de compactage du hot-Rolled-asphalt.

La courbe de compacité en fonction du nombre de giration (1/2) montre l'aptitude de l'enrobé à se compacter tout seul, dans le cas de la formule II on a $N_0 = 11$ alors que pour formule I on a $N_0 = 7$ ce qui veut dire que l'enrobé discontinue tombe de la table du finisseur sur le lieu ou il doit être appliqué comme s'il a subi 11 girations rien que sous l'effet de son poids n propre.

2 - Essai d'orniérage :

Il est fait de façon à permettre de tester au niveau du laboratoire le comportement des matériaux bitumineux sous l'effet de la circulation, c'est à dire leur distance vis a vis de l'orniérage fluage. Les échantillons préparés subissent le passage d'un pneumatique dans les conditions de charge et de pression voisines des sollicitations engendrées par les véhicules lourds ce qui cause des déformations verticales qui s'appellent ornières. L'ornière est l'accumulation des déformations des déformations résiduelles de la chaussée sous, le passage des zones qui ne sont pas distribuées uniquement sur le profil en travers de la chaussée.

Parmi les principaux facteurs de ce phénomène on trouve

- le trafic : importance des contraintes répétition des charges et temps d'application de la charge.

- bitume : son caractère viscoélastique

- température: son action sur la déformabilité du bitume dans l'enrobé.

L'évolution de l'ornièrre en fonction du nombre de cycles est soit :

$$Y = A \text{ Log } N + B \text{ ou } \text{Log } Y = A \text{ Log } N + B$$

avec Y : l'ornièrre après N cycle

A et B dépendent de la formulation qu'on veut tester le choix d'une de ces deux relations dépend de la valeur du coefficient de régression R (s'il est proche de 1 on adopte la première relation).

Commentaire :

Les résultats obtenus sont :

- pour la formulation discontinue 0/X

- x ornièrre = $-2,163 \text{ Log (cycle)} + 3,799$

- x surf (orn) = $-174,661 \text{ Log (cycles)} + 363,713$

- Pour la formulation continue 0/10

- x ornièrre = $-1,835 \text{ Log (cycles)} + 3,355$

- x surf (orn) = $-11,4651 \text{ Log (cycles)} + 166,626$

On note l'orniérage par une valeur négative et le bourlet par une valeur positive. Donc l'essai nous permet de conclure que la formulation discontinue s'ornièrre plus que la formulation continue mais il est certain que les deux valeurs de l'ornièrre obtenues sur les deux formules restent acceptables pour les deux.

3 - Fluage dynamique :

Le comportement des enrobés bitumineux n'est pas le même sous charge statique que sous charge vibrante c'est le caractère thixotropique des enrobés. Les dispositifs de fluage statique donnent des indications telle que la tendance à l'orniérage en fonction de la compacité de l'enrobé de la température, mais pour tenir compte à la fin de l'orniérage résultant d'une accumulation de déformations élémentaires non entièrement récupérées et du caractère thixotropique des enrobés bitumineux, il est nécessaire d'avoir recours à une simulation dynamique du phénomène. C'est le but de l'essai de "fluage dynamique".

Ces essais de fluage permettent d'établir une relation entre le module de l'enrobé (S_m) et le module du bitume (S_B) pour des longs temps de charge. Cette relation est de la forme :

$$\log (s_m) = a \log (s_b) + b.$$

en plus on a : s_m (fluage) = $C_m \times s_m$ (orniérage).

C_m est appelé facteur dynamique et est compris entre 1 et 2.

C_{m1} pour les enrobés fermés.

C_{m2} pour les enrobés ouverts.

Commentaire :

D'après les résultats obtenus au cours de l'essai, on remarque que cet enrobé a une croissance rapide de la déformation au départ, puis une période de croissance lente ou modérée. a ceci on ajoute une rapide augmentation de la formation au voisinage de la rupture. La courbe déformation = $f(\text{temps})$ présente une forte pente pour les hautes températures cette même pente pour une même température augmente en augmentant la contrainte on remarque aussi que le nombre de cycles absorbés par l'enrobé augmente lorsque la pénétration s'abaisse. En revanche le taux de fluage augmente avec l'augmentation de la pénétration.

On conclut que notre enrobé a une aptitude au fluage importante, et ceci indépendamment de la formation granulométrique.

4 - Traction directe:

Un des aspects fondamentaux du comportement mécanique des mélanges a liant organique est le fait que les dégradations commencent dès les petites déformations, puis continuent d'apparaître de façon très progressive. C'est ce que montre la non linéarité du comportement mécanique. La cause est due à la très grande dispersion des contraintes et des déformations locales. en dehors des défauts qui entraînent des concentrations de contrainte qui sont élevées si le liant est rigide.

La rupture en traction peut être du type :

- fragile : faible déformation à la rupture.
- ductile : la rupture se fait en torse et la déformation visqueuse est prépondérante.
- la rupture : caractérisée par l'existence d'un maximum mixte, avec des déformations plastiques importantes.

A partir de l'essai de fatigue à amplitude de déformation constante, ou déduit que :

* une augmentation du module de bitume entraîne une diminution de la durée de vie et une augmentation du module de l'enrobé.

* une augmentation du la compacité par compactage entraîne une augmentation de la durée de vie et du module.

* une augmentation de la teneur en bitume augmente la durée de vie et le module.

Le but de cet essai est la détermination des caractéristiques permettant de dimensionner une chaussée du point de d'une rupture ou d'étudier et de contrôler des matériaux en vue d'une utilisation donnée.

2.4.1 - Résultats et commentaires:

Les différents résultats obtenus par les deux formulations sont résumés dans le tableau suivant .

	module (n/M2)									
COMPACTITE	10° C	10° C	20° C	20° C	15° C	perte de	6	I.Q.E		
	0,02 s	1000s	0,02s	100s	0,02	linéarité		cm		
FORMULE	97,6	6,93	5,41	3,47	3,39	5,02	0,58	19	26,7	
CONTINUE		x	x	x	x	x		x		
I		109	108	109	108	109		106		
FORMULE	95,58	5,49	3,32	2,40	1,81	3,50	0,614	90,9	29,5	
Discont-		x	x	x	x	x		x		
line II		109	108	109	108	109		106		

AVEC : la perte de linéarité a partir de
l'extrapolation de la courbe (contrainte , deformation)
 $\bar{a} = 0$

I.Q.E : l'indice de qualité d'épaisseur qui
se calcule à partir des coefficients de regression de
courbes(5,2). 6 : deformation à 106 cycles.

On remarque qu'à haute température et on longtemps de charge la formule 1 se comporte mieux que la formule discontinue. L'indice de qualité de la formule continue est meilleur que celui de la formule discontinue ce qui explique la bonne aptitude à résister mieux au phénomène de fatigue.

L'étude d'après l'essai de traction nous renseigne surtout sur le comportement en fatigue, mais elle ne permet pas un choix définitif de telle ou telle formule, parcequ'une formule qui a un bon comportement en fatigue n'est pas forcément la meilleure.

L'étude comparative permet de dire que la formule continue est meilleure que la formule discontinue du point de vue comportement en fatigue.

V - ETUDE COMPLEMENTAIRE :

Module complexe des enrobés.

Les corps viscoélastiques ont des propriétés mécaniques qui dépendent de la durée de la sollicitation (ou de sa fréquence) et de la température lorsque sur un tel matériaux une contrainte sinusoidale de la forme $60 \sin(\omega t)$, la déformation résultante est également sinusoidale avec la même fréquence mais un déplacement qu'on appelle de perte, sa forme est $Os \sin(\omega t - e)$.

La valeur de E donne une idée de la predominance du caractère visqueux ou élastique $E=90$ pour un corps visqueux). Le module complexe d'un corps viscoélastique est un nombre complexe de la forme $E = se \text{ ie} = S \cos l = \sin e$. avec $S = 60/E0$

Cette notion de module complexe a été introduite pour généraliser les lois de la mécanique en principe réservées aux seuls corps élastiques dans le cas particulier du bitume et des mélanges bitumineux s et e sont notés sb et eb d'une part et sin et em d'autre part.

Calcul du module complexe des 2 formules étudiées.

Le calcul nécessite :

-La détermination des pourcentages en volume des différents constituants des mélanges: soit v le volume des vides volumes du bitume et vg volume des granulats.

-Détermination du module de rigidité du bitume: sb qui se détermine à l'aide du monogramme de Van Derpoel, connaissons la fréquence au le temps d'application de la charge la seconde, la différence de température et l'indice de pénétration dans notre cas: un bitume 40/50 I.P=2,3

FREQUENCE = 20 HZ = SB=2,2X10⁷
 dt en) "C=50 =(N:N 2)

Avec les pourcentages en volume des différents constituants resumés dans le tableau suivant .

!	! V	! Vb	! Vg	! Vg/Vb
!formule 1	!2,742	!13,231	!84,297	!6,371
! 0/10	!	!	!	!
!formule 2	!5,075	!14,17	!80,755	!5,699

Le calcul du module de l'enrobé pour un module de bitume donné se fait à partir de la formule :

$$\frac{\text{Log } s_n = m}{2} = n(\log sb - 8) = \frac{m - n(\log sb - 8)}{2} = b$$

Avec sb module de bitume compris entre 10⁷ et 10⁹ N/m²
 B,M et N constantes qui dependent de vg et vb.

VI - CONCLUSION GENERALE

Cette étude au laboratoire avait pour but de déterminer les caractéristiques des bétons bitumineux utilisés au Maroc (formule continue) jusqu'à présent ignorées et la contribution à l'étude d'un enrobé souple. La formulation classique donne des fissurations avant échéance de la durée de vie d'un comportement rigide.

C'est pourquoi on a opté pour une formulation visqueuse qui peut remédier au problème posé. Jusqu'à présent au Maroc les performances des enrobés sont jugées selon deux essais à savoir l'essai Marshall et Duriez.

Toute fois ces essais sont loin d'être efficaces pour juger les mélanges hydrocarbonnés surtout les aptitudes à la fatigue.

Les essais dits nouveaux donnent des renseignements caractérisés par des grandeurs inintrinsicités permettant une approche scientifique des problèmes de déformabilité et destruction par fatigue ou par orniage.

-L'essai à la peress a cisaillement qui montre que les deux formulations sont valables au niveau du compactage toute fois la formulation discontinue se compacte plus facilement que la

formulation discontinue. mais cette dernière a une évolution plus rapide du compactage.

L'essai d'orniérage : si la formulation continue est la plus performante il reste que les deux formules donnent des résultats valables.

-L'essai de fluage dynamique; il est effectué seulement sur la formulation discontinue et prouve que cette formule est susceptible au fluage mais toute comparaison avec la formule continue est impossible.

-L'essai de traction : prouve que la formulation discontinue a une mauvaise tenue en fatigue relativement a la formulation continue.

-La méthode de calcul des modules complexes des enrobés montre qu'il y a une relation croissante entre celui ci et le module de bitume utilisé dans la formule. L'excessivité de ce dernier a permis d'expliquer le comportement rigide des enrobés actuellement utilisés.

Enfin cette étude a permis d'acquérir des renseignements importants sur les enrobés utilisés au Maroc. Même si elle n'a pas abouti d'une manière définitive a son but elle constitue un point de départ pour mettre au point une formulation qui présente des performances nettement meilleures.

On peut jouer sur certains paramètres de la formulation discontinue afin de remédier a sa susceptibilité au fluage on peut modifier le pourcentage élevé du sable contenu dans cette formule afin d'augmenter sa compacité.

A la fin on peut jouer sur le module du bitume utilisé dans le mélange pour rendre son comportement plus simple.