



Journal Homepage: -www.journalijar.com

INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED RESEARCH (IJAR)

Article DOI:10.21474/IJAR01/18319
DOI URL: <http://dx.doi.org/10.21474/IJAR01/18319>



RESEARCH ARTICLE

INFLUENCE DU PLASTIQUE RECYCLE DE TYPE POLYPROPYLENE SUR LES CARACTERISTIQUES DU BITUME ET DE L'ENROBE BITUMINEUX

Passoli Abelim^{1,2}, Badaba Valérie Leleng Peacequeen², Banakinao Sinko³ and Ayite Yawovi Mawuénya Xolali Dany⁴

1. Institut National de la Recherche Scientifique (INRS), University of Lome 01BP1515 Lomé 01 Togo.
2. Laboratoire National du Bâtiment et des Travaux Publics (LNBTP), B.P.20100 Lomé Togo.
3. Laboratoire de Structure et Mécanique des Matériaux (LaS2M), University of Lome, 01BP1515 Lomé 01 Togo.
4. Laboratoire de Recherche en Sciences de l'Ingénieur (LARS), Ecole Polytechnique de Lomé, University of Lome, 01BP1515 Lomé 01 Togo.

Manuscript Info

Manuscript History

Received: 26 December 2023
Final Accepted: 28 January 2024
Published: February 2024

Key words:-

Asphalt, Modified Asphalt Concrete, Polypropylene, Modified Bitumen, Maximum Density, PCG, Rutting, Water Resistance, Marshall

Abstract

Asphalt is the most widely used product in the construction of flexible pavements. The purpose of this study is to evaluate the feasibility of incorporating recycled polypropylene plastic into bitumen to obtain modified asphalt to manufacture modified asphalt mixes that offer better properties than conventional asphalt mixes. A type of asphalt mix has been studied, a semi-grained asphalt concrete (SGAC14). Conventional asphalt mixes as well as asphalt mixes containing 2% and 4% of the polypropylene dosages were manufactured. For all the tests carried out, the performance was evaluated according to five criteria: 1) improvement of the rheological properties of the bitumen (ring balls, penetrability, softening point, ductility); 2) suitability for compaction with the gyratory shear press (GCP); 3) Water resistance; 4) rutting resistance and; 5) the Marshall Trial. The experimental results showed, among other things: an improvement in the rheological properties of the modified bitumen for the respective polypropylene assays of 1%, 2%, 3%, 4% and 5%. For these assays, respectively, penetrability decreased by 29%, 37%, 42%, 74%, and 90%; the temperature of beads and rings increased by 0.73%, 2.94%, 5.5%, 6.24% and 9.17%; the springback increased by 13.82%, 21.40%, 5.69% and 4.07%. The modified asphalt mixes with 2% and 4% polypropylene compact better than the reference asphalt at 80 gyrations with respectively 5.5% and 5.1% voids; we have 6.1% voids for the reference asphalt. An increase in water resistance for polypropylene dosages at 2% and 4% respectively; the latter offer a variation in simple dry compressive strength of 4.84%, 22% and a variation in compressive strength after 7 days of immersion in water of 8.53%, 19.5%. Improved rutting performance of modified asphalt mixes: The SGAC14 class 0 reference asphalt mixes are upgraded to a class 1 and class 2 SGAC0/14 for 2% and 4% polypropylene dosages respectively. Modified asphalt mixes give the best Marshall stability. Overall, the possibility of incorporating polypropylene into SGAC14 type asphalt has been proven.

Corresponding Author:- Passoli Abelim

Address:- Institut National de la Recherche Scientifique (INRS), University of Lome 01BP1515 Lomé 01 Togo.

Introduction:-

Les enrobés bitumineux généralement composés de liants (bitume...) et des agrégats minéraux qui sont mélangés ensemble sont les produits les plus utilisés dans la construction des chaussées souples [1]. L'enrobé bitumineux dans sa configuration traditionnelle n'assure plus un bon fonctionnement des chaussées. Les principaux modes de dégradation des chaussées bitumineuses sont l'orniérage, la fatigue, le désenrobage et la fissuration, etc. Au Togo le phénomène des déformations permanentes (essentiellement l'orniérage) est en plus aggravé par l'intensification du trafic de poids lourds couplé avec une température élevée. Ces phénomènes qui surgissent au fil des années, occasionnent des réparations onéreuses en raison de la durée de vie limitée des routes. Il existe plusieurs recherches faisant cas de l'utilisation des additifs dans les enrobés bitumineux ainsi que sur la modification du bitume et ce, depuis quelque d'années. Les recherches ont montré que l'ajout d'un additif au liant contribue à augmenter la cohésion de la liaison inter faciale entre l'agrégat et le liant qui peut améliorer de nombreuses propriétés des revêtements en béton bitumineux [2][6].

Présentement au Togo, l'utilisation de plastique augmente de façon exponentielle en raison de la croissance considérable de la population. La majorité des plastiques que nous utilisons se retrouve par la suite dans la nature (sans traitement). Pour remédier à ces problèmes d'orniérage, de désenrobage et de fissuration thermique, nous avons entrepris de vérifier l'influence du plastique recyclé de type polypropylène sur les caractéristiques du bitume et de l'enrobé bitumineux. L'emploi de plastiques recyclés réutilisés comme un polymère pour améliorer les performances de la chaussée dans les mélanges bitumineux à chaud, est une approche pour protéger à la fois l'environnement et améliorer la durée de vie des chaussées. Ces types d'enrobés bitumineux modifiés offrent des meilleures propriétés par rapport aux enrobés conventionnels [3], [4] et [5].

Matériels Et Méthodes:-

Essais sur les matériaux

Nous avons effectué quelques essais sur les matériaux pour déterminer leurs propriétés. La figure 1 présente les trois classes granulaires utilisées.



Figure 1:- a) Sable 0/6 b) Gneiss concassé 6/10 c) Gneiss concassé 10/14

Les différents essais effectués sur les trois classes granulaires sont:

1. Analyse granulométrique (NF EN 12697-2)
2. Caractéristiques intrinsèques :
 - Masse volumique réelle des granulats (MVRg) (NF EN 1097-8) (T/m^3) ;
 - Micro deval (MDE) (NF-EN 1097-1) ;
 - Los Angeles (LA) (NF EN 1097-2) ;
 - Coefficient d'aplatissement (CA NF EN 933-3) ;
 - Essai au bleu (MB_F) (NF EN 933-9) ;
 - Equivalent de sable à 10% (ES10%) (NF EN 933-8) ;
 - Coefficient d'écoulement (Ecs) (NF EN 933-6).

Les essais suivants ont été réalisés sur le bitume pur:

- Mesure de la pénétrabilité (NF EN 14266) ;
- Mesure du point de ramollissement (température billes anneaux) (NF EN 1427) ;
- Le RTFOT (NF EN 12607-1) ;
- Ductilité (NM 03.4.013) (NF EN 13589) ;

- Retour élastique (NF EN 13398) ;
- Adhésivité (XP T 66-043 ; NF EN 15626).

Il a été mesuré la densité du polypropylène suivant la norme NF EN 15326, par rapport à la densité de l'eau. La figure suivante montre son aspect.



Figure 2:- Plastiques recyclés du type polypropylène (PP).

Programme expérimental pour le bitume

Le bitume pur a été testé sans ajout et avec ajout de cinq différentes proportions de polymère. Les différents mélanges effectués sont présentés au tableau 1.

Tableau 1:- Représentation des mélanges.

Mélanges	Teneur totale de modifiant PP
Mélange 1 (M1)	1%
Mélange 2 (M2)	2%
Mélange 3 (M3)	3%
Mélange 4 (M4)	4%
Mélange 5 (M5)	5%

Les critères suivants ont été adoptés pour la production du bitume modifié en laboratoire:

1. Une masse de bitume d'environ 200g ;
2. Une température du mélange de 150 +/-5 °C ;
3. Une durée de malaxage de 1heure ;
4. Une vitesse de malaxage de 30-380rpm.

Nous avons procédé comme suit:

1. Le polypropylène est fondu dans un récipient à l'aide d'une plaque chauffante jusqu'à atteindre une température comprise entre 150 et 155 °C ;
2. Le bitume est introduit dans le récipient, à une quantité correspondant au dosage visé. L'agitateur est ensuite mis en marche ;
3. Durant toute la manipulation, la température doit être maintenue dans l'intervalle de 145 et 155°C en réglant la plaque de chauffage. La vérification de la température s'effectue régulièrement à l'aide du thermomètre digital ;
4. A la fin du malaxage, l'agitateur est mis à l'arrêt puis ;
5. Le mélange est déversé rapidement dans les accessoires pour les différents essais.

Les différents essais réalisés sur le bitume modifié ainsi que le matériel spécifique utilisé.

- **Essai de pénétrabilité** (NF EN 1426). Le matériel utilisé pour les essais et l'expérimentation est composé d'un pénétromètre, d'une aiguille de pénétration, d'un récipient d'échantillon d'essai, d'un bain-marie, d'une cuve de transfert, d'un dispositif de chronométrage et des thermomètres.
- **Essai de point de ramollissement** (température billes anneaux NF EN 1427). Le matériel utilisé pour les essais et l'expérimentation est composé des anneaux, d'une plaque de coulage, des billes, d'un dispositif de guidage des billes, d'un porte anneaux et assemblage, d'un bain, des thermomètres, d'un agitateur et d'un appareillage automatique.
- **Retour élastique** (NF EN 13398). Le matériel utilisé pour les essais et l'expérimentation est composé d'un moule, d'un ductilimètre, d'un couteau à lame droite, d'un agent de démoulage, des ciseaux et d'une règle avec des graduations.
- **Densité du bitume** (NF EN 15326). Le matériel utilisé pour les essais et l'expérimentation est composé d'un pycnomètre, d'un bain d'eau thermostaté, d'un thermomètre du bain, d'une balance, d'une étuve adaptée et d'un bécher de forme basse.

Programme expérimental pour le béton bitumineux semi-grenue BBSG0/14

La figure 3 récapitule les essais réalisés sur les bétons bitumineux BBSG0/14.

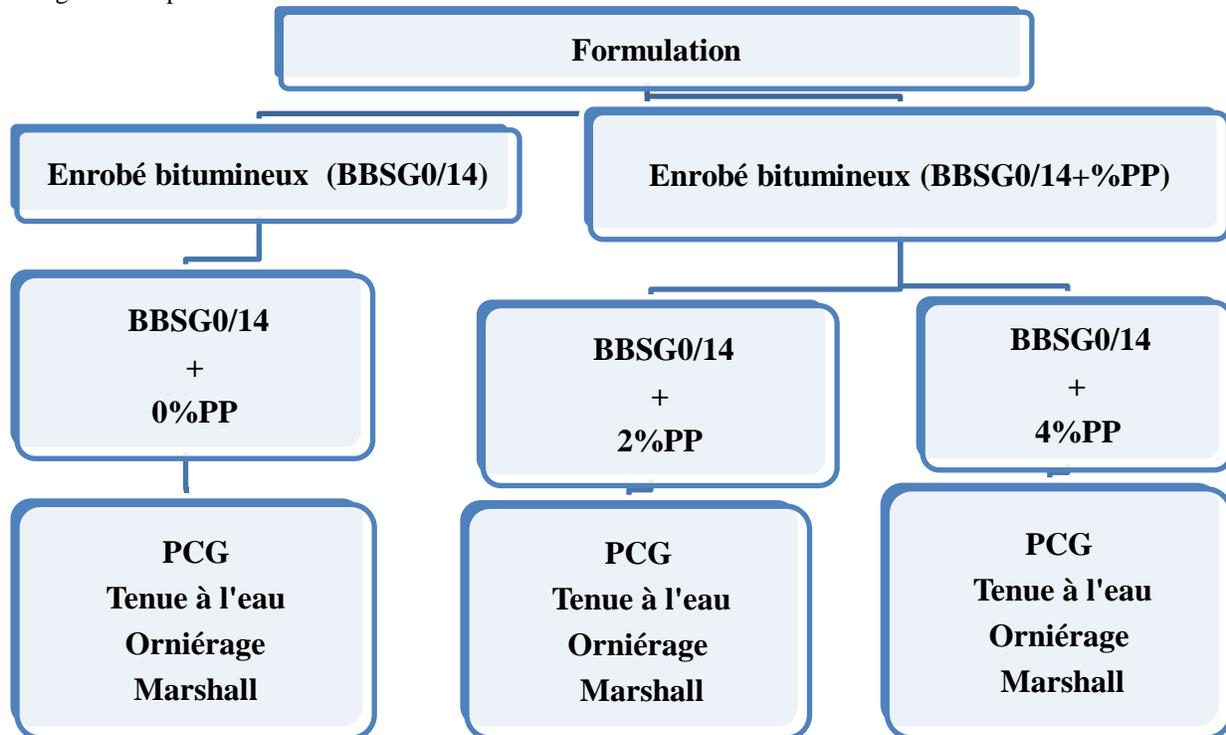


Figure 3:- Organigramme du programme d'essais réalisé sur l'enrobé BBSG0/14 et BBSG0/14-PP.

1. L'essai d'aptitude au compactage avec la presse à cisaillement giratoire (PCG) (NF EN 12697-31). Le matériel utilisé pour les essais et l'expérimentation est composé de la presse à cisaillement giratoire (PCG), des moules et accessoires et d'une étuve.
2. La tenue à l'eau (NF EN 12697-12). Méthode B. Le matériel utilisé pour les essais et l'expérimentation est composé des moules, des pistons, d'une presse, d'une étuve et des accessoires.
3. Des essais thermomécaniques dont la résistance à l'orniérage (NF EN 12697-22). Le matériel utilisé pour les essais et l'expérimentation est composé de l'orniéreur, des moules, d'une étuve et des accessoires.
4. L'essai Marshall (NP 98-251-2 ou NF EN 12697-34). Le matériel utilisé pour les essais et l'expérimentation est composé de trois moules de compactage comportant chacun une base et une hausse, deux pistons extracteurs, une dame de compactage, des mâchoires d'écrasement, une presse, une étuve et des accessoires.

Résultats Et Discussions:-

À la suite de la réalisation des différents essais, les propriétés des enrobés bitumineux ont pu être déterminées et

comparées entre elles pour déterminer l'influence de l'ajout du polypropylène. Cette section présente et analyse les résultats de tous les essais réalisés, dans un premier temps, les résultats des essais réalisés dans le cadre de la formulation du béton bitumineux BBSG0/14 (conventionnel), ensuite les essais réalisés sur le bitume, suivis des essais réalisés sur le béton bitumineux BBSG0/14.

Résultats des essais sur les matériaux

Les caractéristiques intrinsèques du sable 0/6 sont présentées dans le tableau 2.

Tableau 2:-Résultats des essais sur le sable¹

Caractéristique des sables	Granularité Pourcentage des passants au tamis (%)					ES à 10 %	Fs (%)	Ecs (s)	MVRg (T/m ³)	MB _F (%)
	Classe obtenue	2D 12,5m m	D 6,3m m	D/2 3,15m m	0,063m m					
Moyenne	0/6,3	100	100	78	9,45	63		33	2,70	1,5
Spécifications NF EN 13043 G _A 85		100	85 à 99	e ± 15	e ± 6	≥ 60		≥ 35	-	≤ 10

ES10% : Equivalent de sable à 10% de fines ; **MVRg** : Masse volumique réelle des granulats (Mg/3) ; **Ecs** : écoulement des sables exprimé en secondes ; **MB_F** : Bleu de méthylène.

Les caractéristiques intrinsèques du grave 6/10 sont présentées dans le tableau 3.

Tableau 3:- Résultats des essais sur le gravillon 6/10.

Caractéristiques des gravillons 6/10	Granularité Pourcentage des passants au tamis (%)					f (%) < 0.063	CA (%)	LA (%)	MDE (%)	MVRg (T/m ³)
	2D 20mm	1,4D 14mm	D 10mm	d 6,3 mm	d/2 3,15m m					
Moyenne	100	100	96	25	2	1	15,32	27,28	10,76	2,74
Spécifications NF EN 13043	100	98 à 100	85 à 99 e ± 5	0 à 20	0 à 5	e ± 3	≤ 25	≤ 25	≤ 20	-

Les caractéristiques intrinsèques du grave 10/14 sont présentées dans le tableau 4.

Tableau 4:-Résultats des essais sur le gravillon 10/14.

Caractéristiques des gravillons 10/14	Granularité Pourcentage des passants au tamis (%)					f (%) < 0.063	CA (%)	LA (%)	MDE (%)	MVRg (T/m ³)
	2D 25 mm	1,4D 20mm	D 14mm	d 10mm	d/2 5mm					
Moyenne	100	100	48	2	0	0	13,4	24,6	12,1	2,76
Spécifications NF EN 13043	100	98 à 100	85 à 99 e ± 5	0 à 20 e ± 10	0 à 5	0 à 2	≤ 25	≤ 25	≤ 20	

f : teneur en fines (passants à 0,063mm) ; **FI** : Coefficient d'aplatissement ; **LA** : Los Angeles ; **CA** : Coefficient d'aplatissement ; **MDE** : Micro-Deval humide ; **MVRg** : Masse volumique réelle des granulats (Mg/m³).

La figure 4 présente les courbes granulométriques des trois classes granulaires.

¹ En réalité, c'est une grave qui est appelée sable par abus de langage.

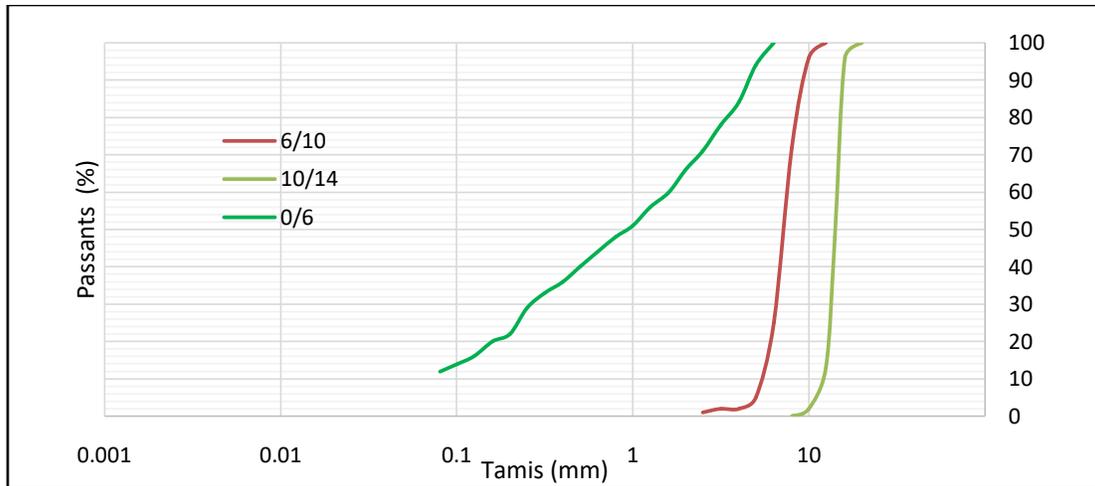


Figure 4:- Courbes granulométriques.

Les propriétés du bitume pur sont présentées dans le tableau 5.

Tableau 5:- Propriétés du bitume.

Intitulé de l'essai	Bitume 35/50	Spécifications
Température de ramollissement billes et anneaux en °C	54,5	50 à 58
Pénétrabilité à 25°C (1/10 mm)	40	35 à 50
Densité relative à 25°C en %	1,044	1,00 à 1,10
Variation de masse (%)	0,5	≤ 0,5
Ductilité à 25 °C (en cm)	> 150	-
Retour élastique (en %)	30,75	-
Augmentation TBA après RTFOT (°C)	5,5	≤ 8
TBA après RTFOT (°C)	60	≥ 52
Pénétration résiduelle après RTFOT (%)	43	≥ 53
Adhésivité bitume pur - G6/10 en %	50 à 75	≥ 90

Résultats et discussions des essais sur le bitume

Les résultats des différents essais à 1%, 2%, 3%, 4% et 5% sont présentés dans le tableau 6 :

Tableau 6:- Récapitulatif des essais réalisés sur le bitume modifié.

Bitume + Polymère (polypropylène)						
Pourcentages	0%	1%	2%	3%	4%	5%
Pénétrabilité (1/10mm)	40	31	29	28	23	21
Point de ramollissement(°C)	54,5	54,9	56	57,5	57,9	59,5
Retour élastique (%)	30,75	35,00	37,33	32,50	32,00	29,00
Densité relative (d25/25)	1,044	1,0437	1,0425	1,0415	1,0401	1,040

Les résultats montrent que l'ajout du polypropylène dans le bitume, améliore ses propriétés rhéologiques. En fonction des résultats, on remarque que la pénétrabilité diminue, et il en est de même pour le point de ramollissement. Nous pouvons dire que le bitume modifié avec du polypropylène devient de plus en plus rigide (dur) lorsque le dosage en polymère augmente. Cependant, les résultats du retour élastique augmentent jusqu'à 4% et diminuent à 5%, cela montre qu'il y a un certain seuil au-delà duquel le bitume modifié perd ses propriétés viscoélastiques.

Essai de pénétrabilité

La figure 5 montre les résultats de l'essai de pénétrabilité sur les bitumes modifiés.

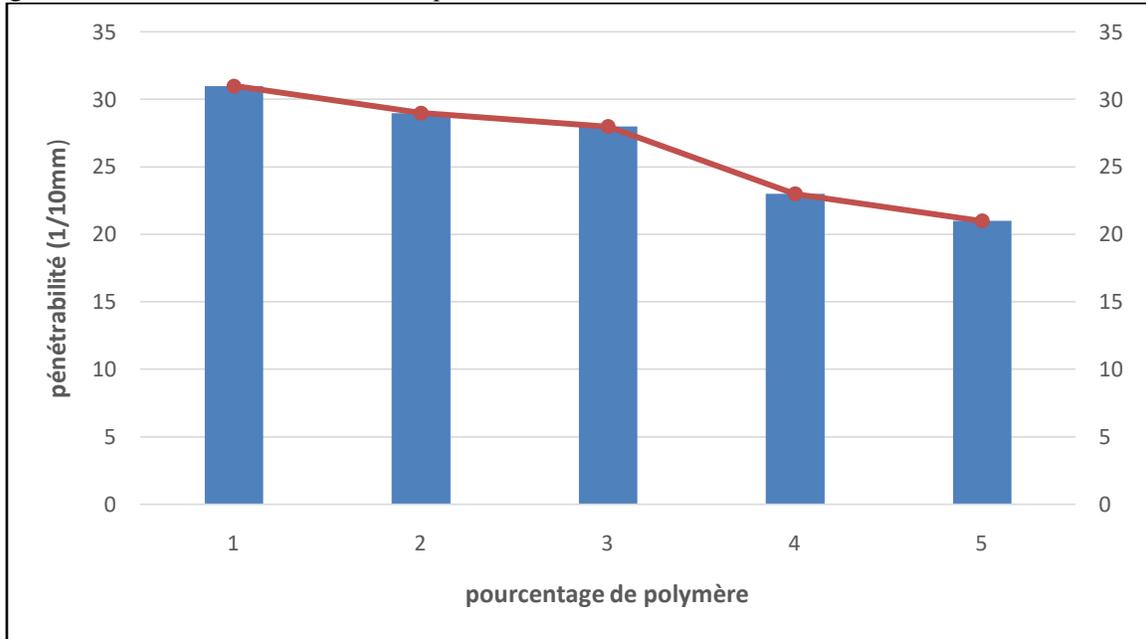


Figure 5:- Variation de la pénétrabilité.

La figure 5 montre une diminution de la pénétrabilité au fur et à mesure que le pourcentage de polypropylène augmente. La pénétrabilité a diminué de 9 points, 11 points, 12 points, 17 points, 19 points. Soit une variation de 29%, 37%, 42%, 74%, 90% respectivement pour les dosages en polypropylène à 1%, 2%, 3%, 4% et 5%.

Point de ramollissement

La figure 6 montre les résultats de l'essai du point de ramollissement sur les bitumes modifiés.

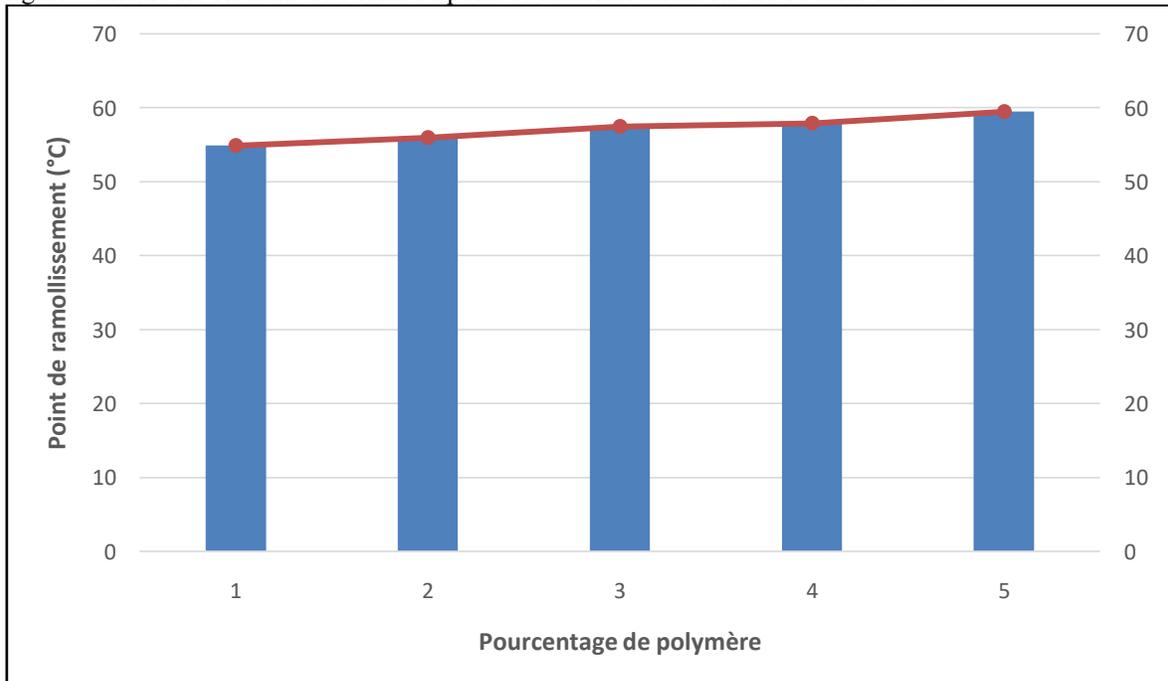


Figure 6:- Variation du point de ramollissement.

La figure 6 montre une augmentation de la température billes et anneaux au fur et à mesure que le pourcentage de polypropylène augmente. La température de billes et anneaux a augmenté de 0,4 points, 1,5 points, 3 points, 3,4 points, 5 points. Soit une variation de 0,73%, 2,94%, 5,5%, 6,24%, 9,17%, respectivement pour les dosages en polypropylène à 1%, à 2%, à 3%, à 4% et 5%.

Le retour élastique

La figure 7 montre les résultats de l’essai du retour élastique sur les bitumes modifiés.

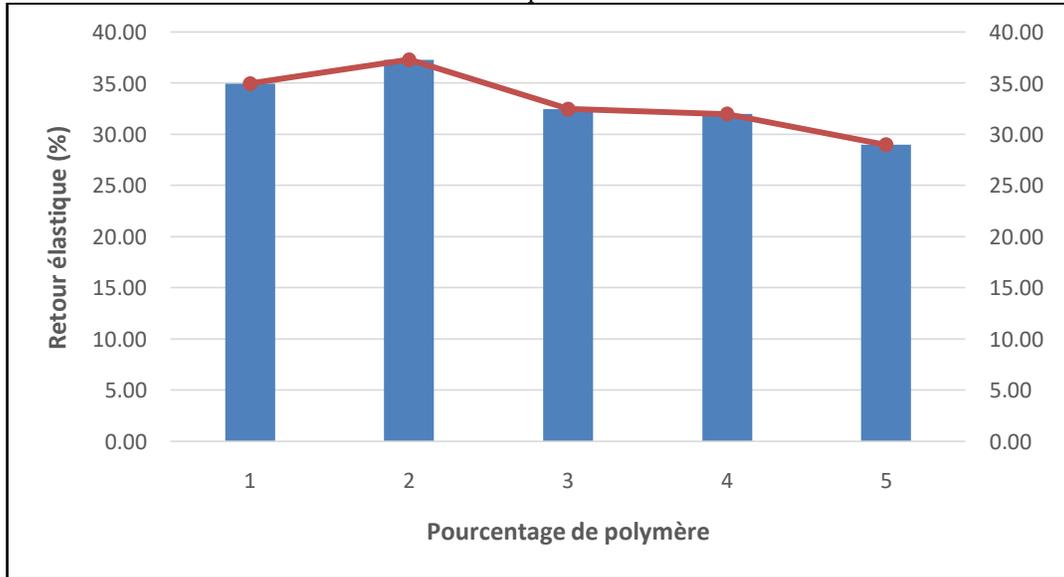


Figure 7:- Variation du retour élastique.

La figure7 montre une augmentation, suivie d’une diminution, du retour élastique, au fur et à mesure que le pourcentage de polypropylène augmente. Le retour élastique a augmenté de 4,25 points, 6,58 points, 1,75 point, 1,28 point. Soit une variation de 13,82%, 21,40%, 5,69%, 4,07% respectivement pour les dosages en polypropylène à 1%, 2%, 3% et 4%.

Le retour élastique a diminué de 1,75 point soit une variation de 5,69% à 5%.

La densité relative

La figure 8 montre les résultats de l’essai de densitérelative sur les bitumes modifiés.

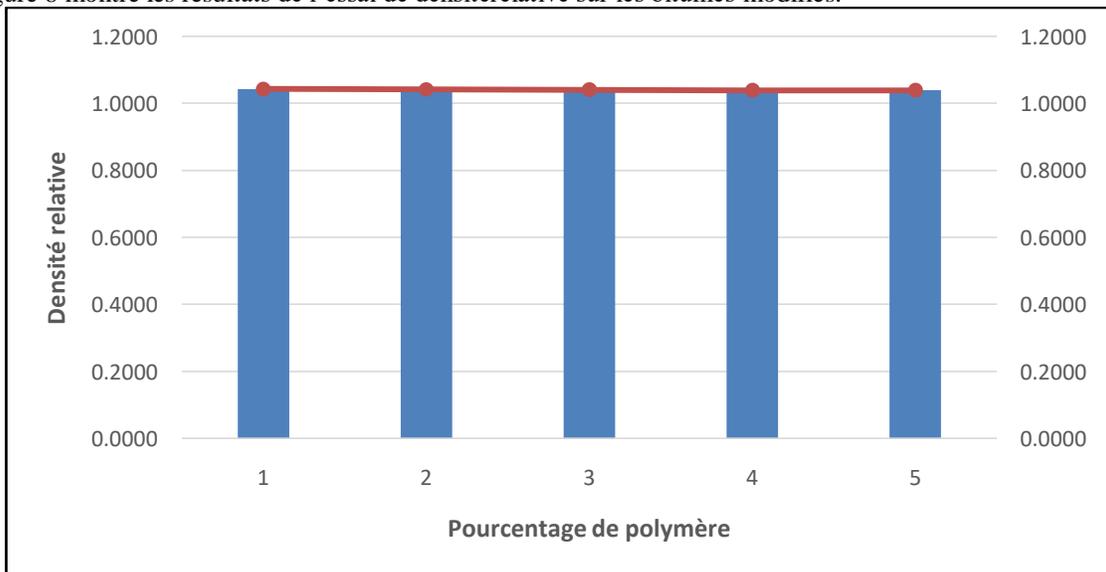


Figure 8:- Variation de la densité relative.

La figure 8 montre une diminution de la densité au fur et à mesure que le pourcentage de polypropylène augmente. La densité relative a diminué de 0,0003 point, 0,0015 point, 0,0025 point, 0,0039 point, 0,004 point. Soit une variation de 0,029%, 0,14%, 0,24%, 0,37%, 0,38% respectivement pour les dosages en polypropylène à 1%, 2%, 3%, 4% et 5%.

Densité polypropylène: 0,9

En fonction du dosage en polypropylène, nous avons classé le bitume modifié de PMB 25/55-50 au PMB 10/40-55 pour un dosage en polypropylène allant de 1% à 5%. Le tableau 7 présente un récapitulatif des résultats obtenus lors des différents essais sur le bitume modifié par référence à la norme EN 14023.

Tableau 7:- Synthèse des résultats des essais sur le bitume + polypropylène.

Bitume + Polymère (polypropylène)					
Pourcentages	1%	2%	3%	4%	5%
Pénétrabilité (1/10mm)	31	29	28	23	21
Point de ramollissement (°C)	54,9	56	57,5	57,9	59,5
Densité relative (d25/25)	1,0437	1,0425	1,0415	1,0401	1,04
Retour élastique (%)	35	37,33	32,5	32	29
Conclusion EN 14023 (cadre pour la spécification modifiée par des polymères)	PMB 25/55-50 un liant de classe de pénétrabilité 3 et de classe de température de ramollissement 8	PMB 25/55-55 un liant de classe de pénétrabilité 3 et de classe de température de ramollissement 7	PMB 25/55-55 un liant de classe de pénétrabilité 3 et de classe de température de ramollissement 7	PMB 10/40-55 un liant de classe de pénétrabilité 3 et de classe de température de ramollissement 7	PMB 10/40-55 un liant de classe de pénétrabilité 3 et de classe de température de ramollissement 7

Résultats des épreuves de formulation des bétons bitumineux

La composition granulaire retenue est la suivante:

Tableau 8:- Pourcentage des fractions choisies.

Fraction	Provenance	Pourcentages pondéraux
0/6	Carrière de concassage de SOROUBAT à Badja	20%
6/10		30,5%
10/14		49,5%
Liant 35/50	ERES	5,3%

La figure 9 montre l'analyse granulométrique du mélange granulaire BBSG0/14.

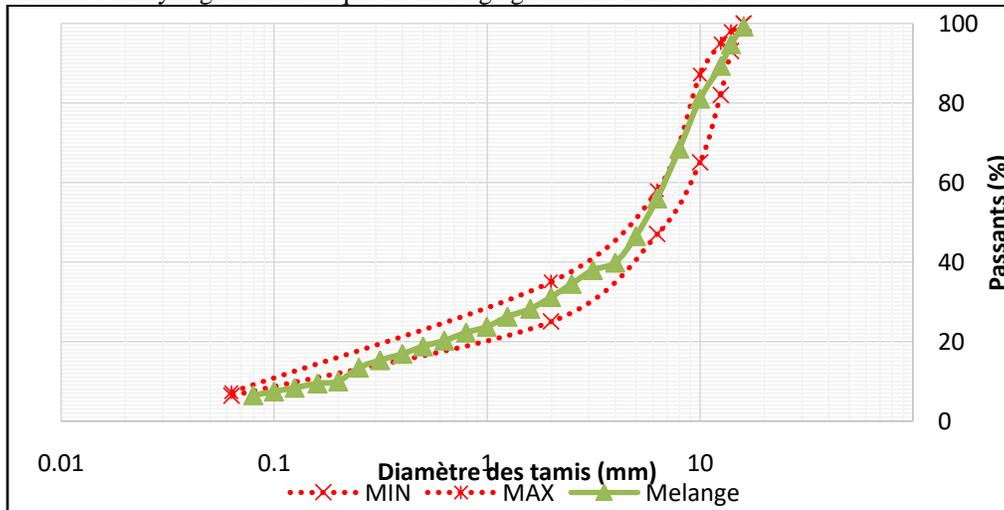


Figure 9:- La courbe granulométrique du mélange et fuseau de référence LCPC BBSG0/14.

La granulométrie du mélange est présentée dans le tableau 9.

Tableau 9:- Granulométrie du mélange.

Granulométrie - Passants aux tamis (%)												
Tamis en mm	0,063	0,08	0,25	2	6,3	8	10	12,5	14	16	20	25
Passant (%)	5,9	6,4	13,4	31,2	56	68,5	81,1	89,3	94,8	99,2	100	100

La masse volumique maximale du béton bitumineux (ρ_{mv})

Les résultats de l'essai de la masse volumique maximale des enrobés bitumineux sont présentés dans le tableau 10.

Tableau 10:- Résultats de la masse volumique maximale des enrobés bitumineux BBSG0/14, BBSG0/14+2%PP, BBSG0/14+4%PP.

Type d'enrobé	BBSG0/14	BBSG0/14+2%PP	BBSG0/14+4%PP
Teneur en liant	5,30%	5,30%	5,30%
Masse volumique maximale de l'enrobé (ρ_{mv})(Mg/m ³) NF EN 12697-5	2,551	2,543	2,542

En observant les résultats indiqués dans le tableau 10, on remarque tout d'abord que le béton bitumineux (BBSG14) ainsi que les bétons bitumineux modifiés (BBSG14+2%PP, BBSG14+4%PP) possèdent exactement le même Vb.

La figure 10 montre la variation de la masse volumique maximale des enrobés bitumineux BBSG0/14.

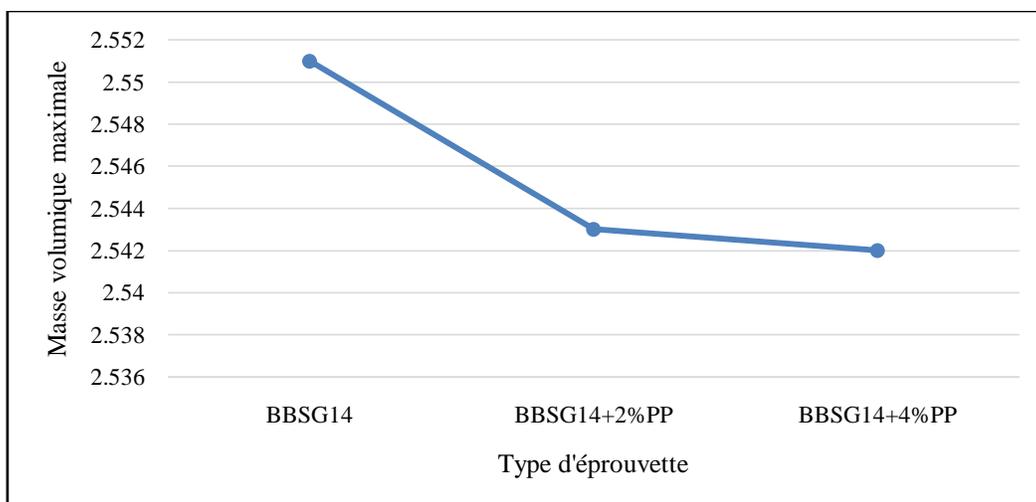


Figure 10:- Variation de la masse volumique maximale des enrobés bitumineux BBSG0/14, BBSG0/14+2%PP, BBSG0/14+4%PP.

La masse volumique maximale de l'enrobé bitumineux (ρ_{mv}) diminue lorsqu'on ajoute du polypropylène. Les valeurs de ρ_{mv} des enrobés bitumineux modifiés sont plus faibles que l'enrobé de référence, probablement dû au fait que le polypropylène possède une plus faible densité. Soit une variation de 0,32%, 0,35% respectivement pour les dosages en polypropylène à 2% et à 4%.

L'aptitude au compactage (PCG)

Les résultats de l'essai PCG des enrobés bitumineux sont présentés dans le tableau 11.

Tableau 11:- Résultats de l'essai PCG des enrobés bitumineux BBSG0/14, BBSG0/14+2%PP et BBSG0/14+4%PP.

Type d'enrobé		BBSG0/14	BBSG0/14+2%PP	BBSG0/14+4%PP
Teneur en liant (%)		5,30		
Presse cisaillement giratoire (PCG) NF EN 12697-31	N° (Nombre de girations)	% vides		
	1	20	19,7	20
	5	14,9	14,6	15
	10	12,4	11,6	12
	80	6,1	5,5	5,2
	200	4,6	5,1	4,7

Les résultats montrent que les enrobés bitumineux respectent les exigences de la méthode de formulation, qui demande une teneur en vide comprise entre **4% et 9% à 80 girations**[7].

La figure 11 montre la variation du pourcentage de vide des enrobés bitumineux en fonction du nombre de girations.

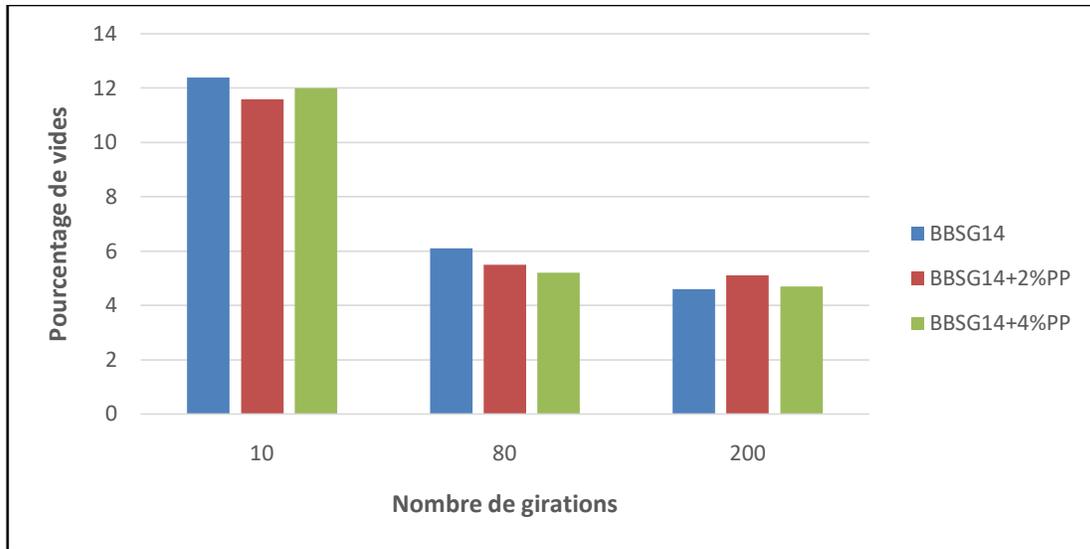


Figure 11:- Pourcentage de vide des enrobés bitumineux BBSG14, BBSG14+2%PP, BBSG14+4%PP en fonction du nombre de gyrations.

Les enrobés bitumineux BBSG14, BBSG14+2%PP et l'enrobé bitumineux BBSG14+4%PP se compactent différemment et ce malgré le fait que le volume de bitume ($V_b = 5,3\%$), les proportions des classes granulaires sont restées les mêmes :

1. Pour $N = 10$ girations, l'enrobé bitumineux BBSG14+2%PP est plus compacté (11,6% de vides) que l'enrobé BBSG14+4%PP (12% de vides), qui est aussi plus compacté que l'enrobé BBSG14 (12,4% de vides) ;
2. Pour $N = 80$ girations, l'enrobé bitumineux BBSG14+4%PP contient moins de vides (5,2%) que l'enrobé BBSG14+2%PP, qui aussi contient moins de vides (5,5%) que l'enrobé BBSG14 (6,1%) ;
3. Pour $N = 200$ girations, le BBSG14 contient moins de vides (4,6%) que l'enrobé BBSG14+4%PP, qui contient aussi moins de vides (4,7%) que l'enrobé BBSG14+2%PP (5,1%).

Suite aux essais à la PCG, les résultats montrent que les enrobés bitumineux possèdent une bonne aptitude au compactage. On en conclut que l'enrobé bitumineux BBSG14+4%PP se compacte mieux à 80 girations. L'ajout du polypropylène dans le bitume donne des propriétés d'étanchéité à l'enrobé bitumineux en comblant les vides entre les granulats.

Tenue à l'eau

Les résultats de l'essai de tenue à l'eau des enrobés bitumineux sont présentés dans le tableau 12.

Tableau 12:- Résultats de l'essai de tenue à l'eau des enrobés bitumineux BBSG0/14, BBSG0/14+2%PP et BBSG0/14+4%PP.

Enrobés	MVA (g/cm ³)	% eau absorbée	Force (KN)	Contrainte lot humide (KPa) (r)	Contrainte lot sec (KPa) (R)	Rapport ($\frac{r}{R}$) %
BBSG14	1		166,468		14,719	$(\frac{6}{1}) = 1,03$
	2		149,224		13,194	
	3		151,962		13,436	
	4	2,407	0,62	150,191	13,280	$(\frac{4}{2}) = 1,01$
	5	2,417	0,80	150,962	13,348	
	6	2,415	0,63	171,311	15,147	
BBSG14 +	1	2,425	0,63	166,847	14,753	$(\frac{1}{2}) = 0,96$

2%PP	2			173,591		15,349	
	3			168,957		14,939	$(\frac{4}{5}) = 0,99$
	4	2,426	0,61	162,991	14,412		
	5			165,006		14,590	$(\frac{6}{3}) = 0,97$
	6	2,430	0,59	163,244	14,434		
	BBSG14 + 4%PP	1	2,427	0,51	199,881	17,673	
2				192,593		17,029	
3		2,433	0,41	187,2	16,552		$(\frac{3}{6}) = 1,04$
4		2,424	0,43	189,314	16,739		
5				188,38		16,657	$(\frac{7}{5}) = 1$
6				188,323		15,918	

On constate dans le tableau 8 que les trois enrobés bitumineux se conforment **aux spécifications relatives à la tenue à l'eau** qui demande un **ITSR (r/R)** pourcentage supérieur à **70%**[7]. Les enrobés bitumineux modifiés sont plus denses; cela se traduit par l'augmentation du MVA. On observe une augmentation de la résistance avec l'ajout du polypropylène:

1. La résistance à la compression simple à sec augmente avec augmentation de teneur en polypropylène. Soit une variation de 4,84% et 22% respectivement pour les dosages en polypropylène à 2% et à 4%.
2. La résistance à la compression après 7 jours d'immersion dans l'eau à 18°C présente une meilleure performance à 2% et 4% du polypropylène. Soit une variation de 8,53% et 19,85% respectivement pour les dosages en polypropylène à 2% et à 4%.

La figure 12 montre la variation de la résistance à sec en fonction du type d'enrobé bitumineux.

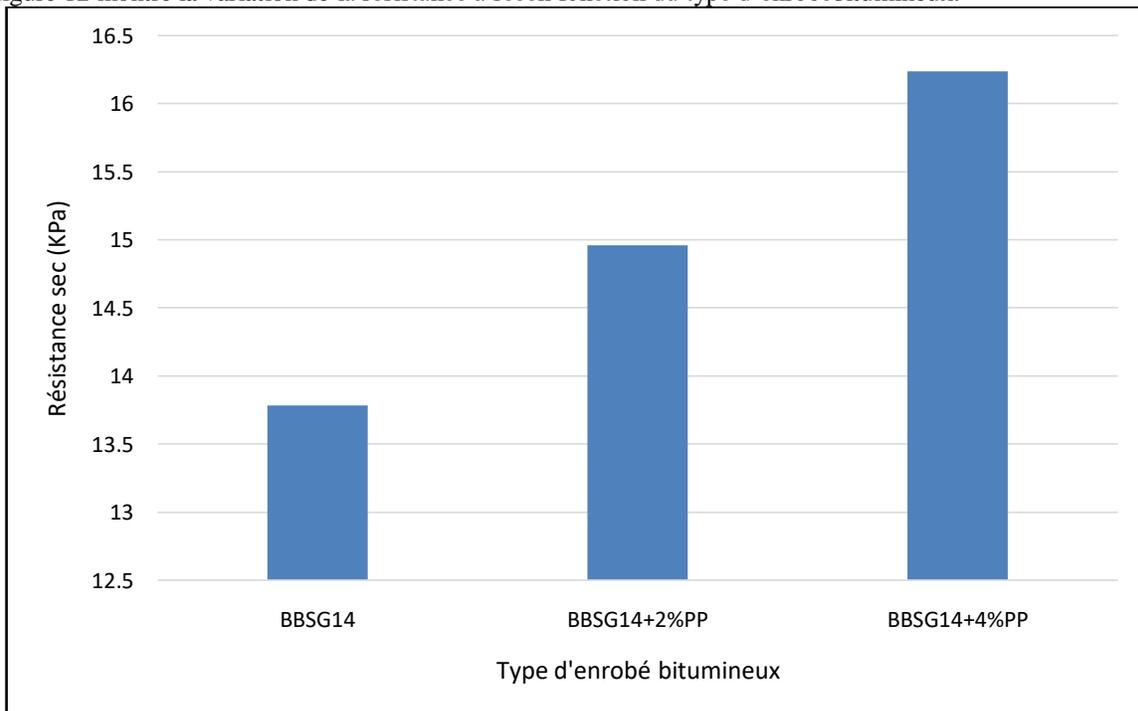


Figure 12:- Résistance à sec des enrobés BBSG14, BBSG14+2%PP, BBSG14+4%PP.

La figure 13 montre la variation de la résistance après immersion en fonction du type d'enrobé bitumineux.

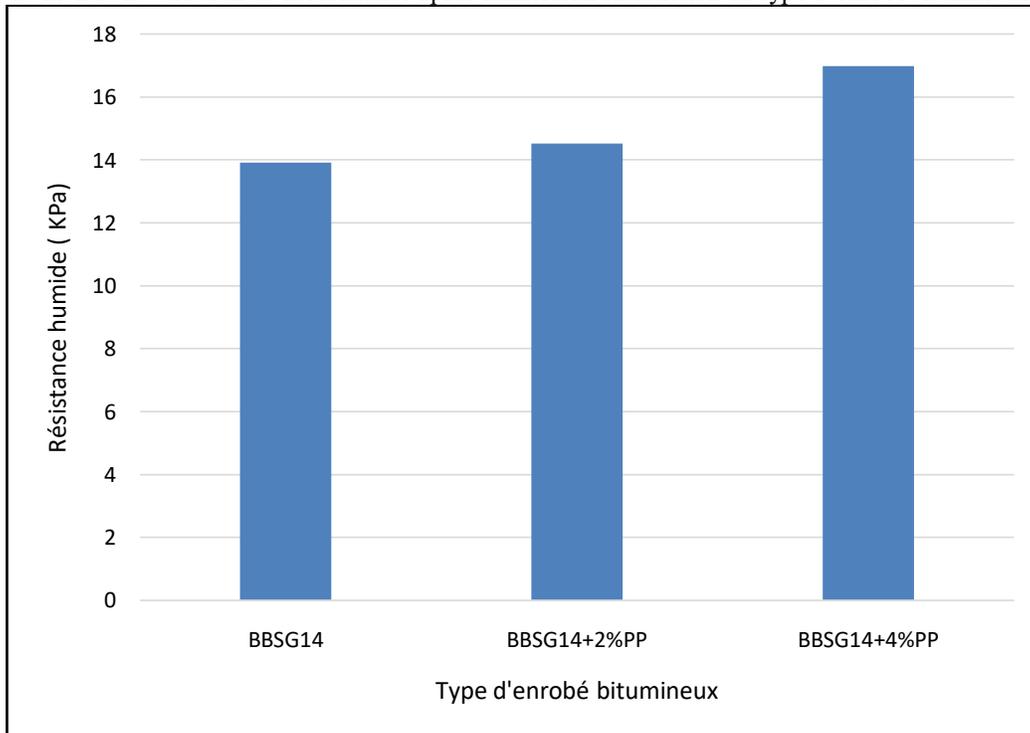


Figure 13:- Résistance après immersion des enrobés BBSG0/14, BBSG0/14+2%PP, BBSG0/14+4%PP.

L'ajout du polypropylène dans les enrobés bitumineux améliore la tenue à l'eau. Le polypropylène empêche l'eau de s'y infiltrer, d'où la propriété d'imperméabilité du polypropylène.

L'orniérage

Les résultats de l'essai d'orniérage des enrobés bitumineux sont présentés dans le tableau 13.

Tableau 13:- Résultats de l'essai orniérage pour les enrobés bitumineux BBSG14 et BBSG14+2%PP, BBSG14+4%PP.

Type d'enrobé	BBSG0/14	BBSG0/14+2%PP	BBSG0/14+4%PP	
Teneur en liant (%)	5,30			
Orniérage NF EN 12697-22	Cycles	% vides		
	1000	3,45	2,49	1,71
	3000	5,24	3,80	3,00
	10000	7,95	6,40	4,50
	30000	11,15	9,42	6,67

La figure 14 montre les courbes d'orniérage des enrobés bitumineux.

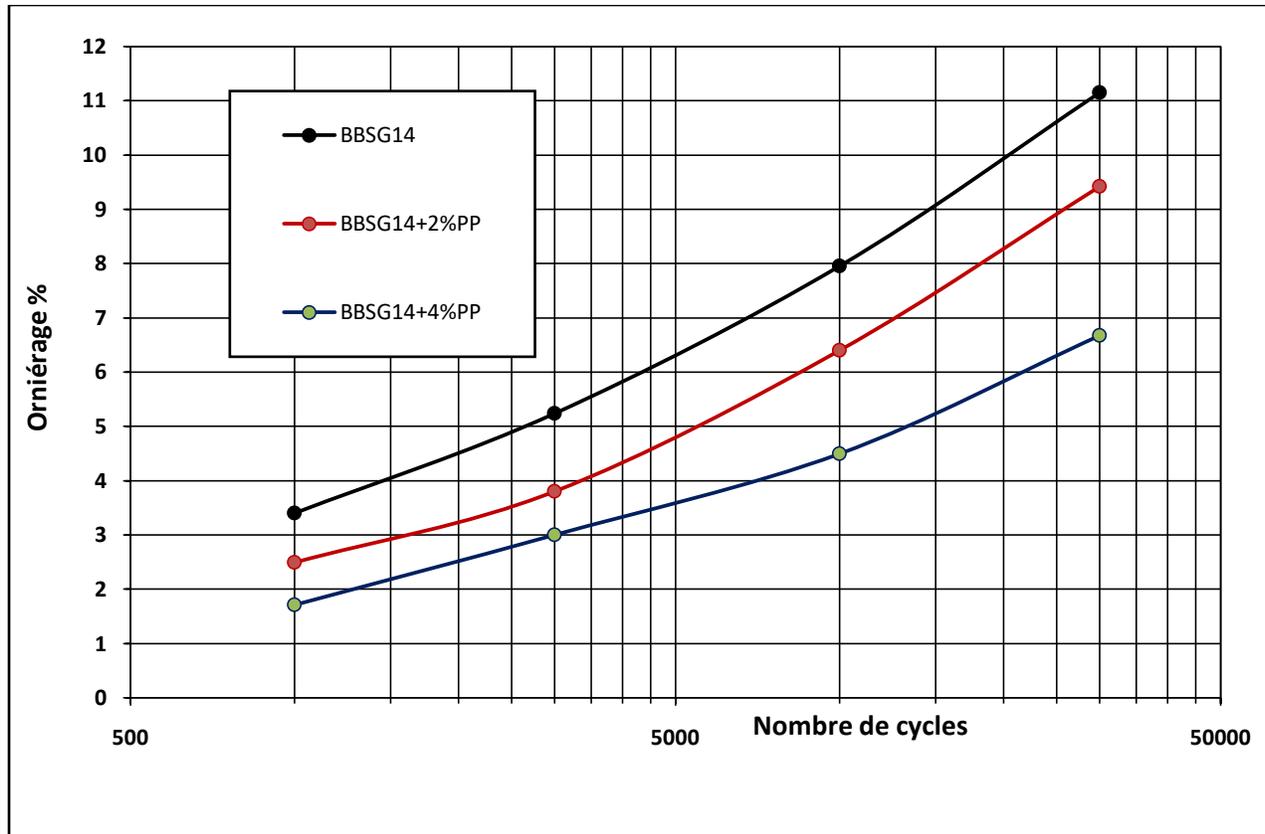


Figure 14:- Courbes d'orniérage des enrobés bitumineux BBSG0/14, BBSG0/14+2%PP, BBSG0/14+4%PP.

Le tableau 13 montre que l'enrobé bitumineux BBSG0/14 ne respecte pas les exigences, en revanche les enrobés BBSG0/14+2%PP et BBSG0/14+4%PP se conforment aux exigences qui demandent un % de vides compris entre 5 et 10 % [7]. On a pu observer que les enrobés bitumineux avec du polyéthylène, en comparaison avec l'enrobé bitumineux conventionnel, ont une meilleure résistance à l'orniérage à 1000, 3000, 10000 et 30000 cycles, qui sont associés aux exigences à tous les cycles. Les enrobés bitumineux modifiés BBSG14+%PP ornièrent moins que l'enrobé bitumineux conventionnel BBSG0/14 à tous les cycles.

Suite à ces résultats, on peut affirmer que l'enrobé bitumineux de type BBSG14 est de classe 0, l'enrobé bitumineux de type BBSG14+2%PP est de classe 1 et l'enrobé bitumineux de type BBSG14+4%PP est de classe 2. Le polypropylène améliore la résistance à l'orniérage de l'enrobé bitumineux.

L'essai Marshall

Les résultats de l'essai Marshall des enrobés bitumineux sont présentés dans le tableau 14.

Tableau 14:- Résultats de l'essai Marshall des enrobés bitumineux BBSG0/14 et BBSG0/14+2%PP, BBSG0/14+4%PP.

Enrobés	MVA (g/cm ³)	MVA (g/cm ³)	STABILITE (daN)	FLUAGE (mm)
BBSG0/14	2,400	2,462	1389	34
	2,403	2,465	1406	33,5
	2,414	2,467	1469	34,4
BBSG0/14+2%PP	2,497	2,497	1625	35,2
	2,508	2,508	1759	35,8
	2,476	2,476	1616	34,8

BBSG0/14+ 4%PP	2,434	2,494	1934	34,3
	2,436	2,497	1950	35,3
	2,417	2,492	1869	33,7

La figure 15 montre la variation de la stabilité Marshall en fonction du type d'enrobé bitumineux.

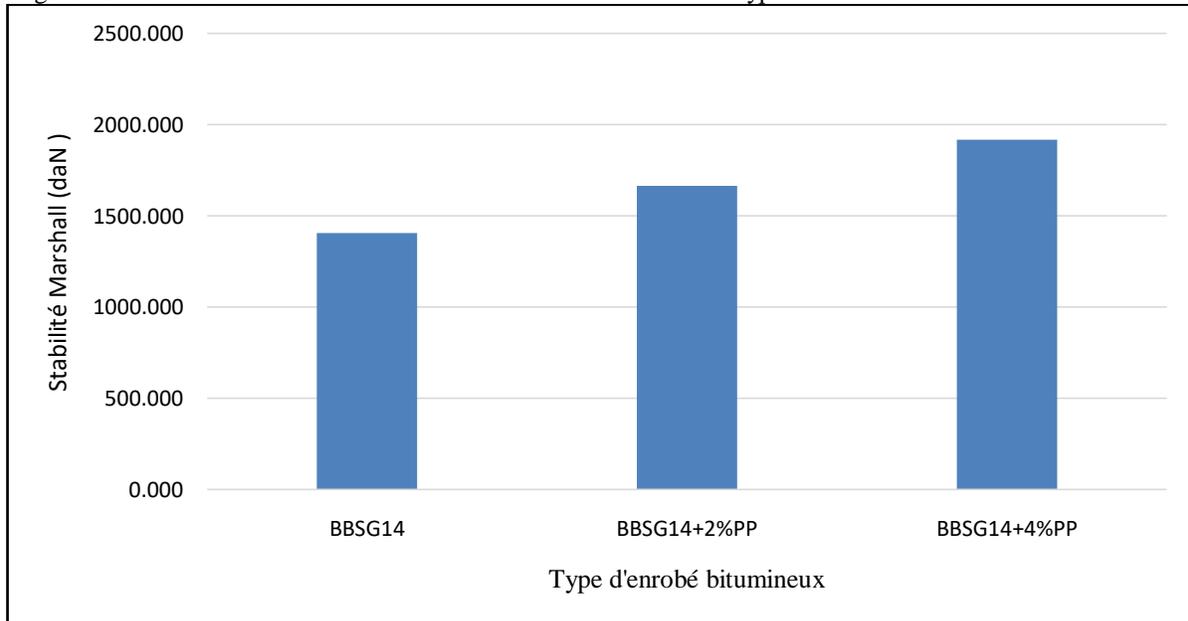


Figure 15:- Stabilité Marshall des enrobés bitumineux BBSG0/14, BBSG0/14+2%PP, BBSG0/14+4%PP.

La figure 16 montre la variation du fluage Marshall en fonction du type d'enrobé bitumineux.

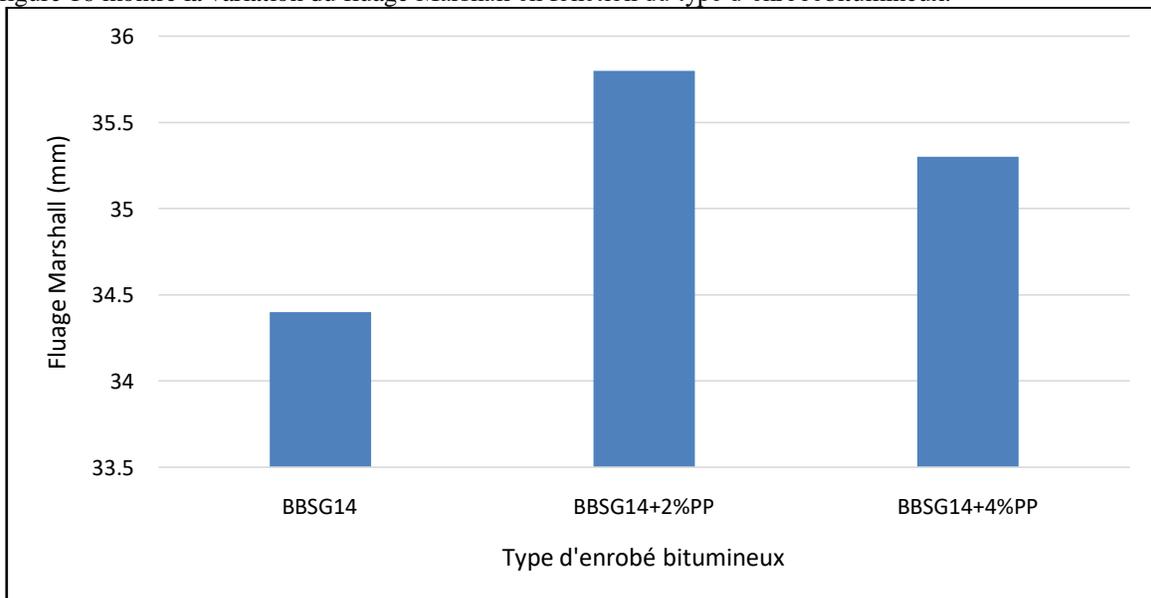


Figure 16:- Fluage Marshall des enrobés bitumineux BBSG0/14, BBSG0/14+2%PP, BBSG0/14+4%PP.

On constate dans le tableau 14 que tous les enrobés bitumineux se conforment aux spécifications relatives à l'essai Marshall qui demandent une **stabilité à 60°C > 1000 kg**, le **fluage entre 20 mm et 40 mm** [7]. Les enrobés bitumineux modifiés au polypropylène donnent les meilleures stabilités et fluages par rapport à l'enrobé bitumineux de référence. La stabilité croît avec augmentation de teneur en polypropylène. Soit une variation de 17,26%, 34,92% respectivement pour les dosages en polypropylène à 2% et à 4%. Le fluage a augmenté de 1,03 mm, 0,46 mm

respectivement pour les dosages en polypropylène à 2% et à 4%. On remarque aussi que les enrobés bitumineux modifiés deviennent plus denses que l'enrobé bitumineux de référence.

L'ajout du polypropylène dans les enrobés bitumineux donne des résultats intéressants dans l'évolution des performances mécaniques testées à l'aide de l'essai Marshall. Le fluage n'explose pas alors que la stabilité augmente, car le bitume modifié à 2% et à 4%, a gardé plus ou moins ses propriétés viscoélastiques.

Conclusion:-

Cette recherche a consisté à étudier le comportement du plastique recyclé de type polypropylène dans le bitume. Pour ce faire, nous avons choisi l'enrobé bitumineux BBSG14, qui est un enrobé bitumineux utilisé en couche de surface, puisque les précédentes études rapportaient des difficultés au niveau de la résistance à l'orniérage avec les enrobés bitumineux BBSG14. Tous les enrobés bitumineux ont été évalués selon quatre critères soit: 1) l'aptitude au compactage à la PCG, 2) la résistance à l'orniérage, 3) la tenue à l'eau et 4) l'essai Marshall.

À la lumière des résultats présentés dans cette étude, les conclusions suivantes sont tirées:

1. La modification du bitume par le polypropylène a amélioré les propriétés du bitume telles que la pénétrabilité, le point de ramollissement et le retour élastique.
2. A la presse à cisaillement giratoire, les bétons bitumineux modifiés contiennent moins de vides que le béton bitumineux de référence suivant un volume de bitume donné.
3. Le béton bitumineux BBSG14+4%PP est plus compacté à 80 girations.
4. Quant à la tenue à l'eau, les bétons bitumineux modifiés se comportent mieux qu'un béton bitumineux de référence respectivement à 2% et à 4% du dosage en polypropylène.
5. Le polypropylène a un impact marqué sur la tenue à l'eau des enrobés bitumineux.
6. Les meilleures performances à l'orniérage sont obtenues par les bétons bitumineux modifiés au polypropylène.
7. Les bétons bitumineux modifiés sont plus denses et plus stables que les enrobés bitumineux de référence.
8. En plus de respecter les exigences de formulation LCPC, les enrobés bitumineux modifiés au polypropylène obtiennent de bien meilleurs résultats à tous les essais et une rigidité plus élevée que l'enrobé bitumineux conventionnel.

Cette étude aura permis de montrer la possibilité d'incorporer du polypropylène dans les enrobés bitumineux.

Bibliographie:-

- [1] Khengaoui S., (2013), « Valorisation du sable de dunes en couches de roulement sable-bitume », UKM Ouargla, Algérie.
- [2] Brule B., (1986), « Liant modifiés par les polymères pour les enduits et enrobés spéciaux » Rapport des Laboratoire PC , p8
- [3] Moatasim A., Cheing Pei F., Al-Hadidy A., (2011), « Laboratory evaluation of HMA with high density polyethylene as a modifier », Construction and Building Materials 25 , 2764-2770.
- [4] Haddadi S. (2007), « Influence de la poudre de caoutchouc sur le comportement au fluage des enrobés bitumineux ». Thèse de Doctorat d'état, FGC/USTHB.
- [5] Alexandru T. B., (2018) « Formulation d'enrobés bitumineux de type ESG10 et GB20 avec incorporation de particules de verre » Mémoire de maîtrise électronique, Montréal, École de technologie supérieure.
- [6] Chinoun M., (2012), « Influence de l'association EVA-NBR sur le bitume modifié et les enrobés bitumineux modifiés » pour l'obtention du diplôme de Magister en génie civil.
- [7] Delorme, J.-L., (2006), « Manuel LPC d'aide à la formulation d'enrobé à chaud », Etudes et recherches des Laboratoires des ponts et chaussées. Série Chaussées. 2006, issn 1160-9761, isbn 2-7208-2451-8, 1Vol, 177 p., isbn 2-7208-2451-8.
- [8] Boehm-Courjault E., Amor G., (2012), « polymères-EBC ».
- [9] Meunier, M. (2013). « Orniérage : Les facteurs les plus influents dans une formulation d'enrobé bitumineux ». Via Bitume, 8(3), 8-11.
- [10] Dony A, (1991), « Liants bitumes-polymères » Etudes et recherches des Laboratoires des Ponts et Chaussées.
- [11] Curtis, C.W.R.L, Lytton, C.J. Brannan, I., (1992), « influence of aggregate chemistry on the Adsorption and Desorption of asphalt, » Transportation Research Record, no 1362.
- [12] Berthier, J. (1992), « Granulats et Liants routiers » Techniques de l'Ingénieur.

- [13] Sami C., (1996), « Etude des liants bitumineux modifiés par le noir de carbone et le charbon de bois pyrolytiques, sous-produits de la décomposition thermique sous vide des pneus et du bois hors d'usage » Mémoire de maîtrise en environnement université de Sherbrooke (Québec), Canada.
- [14] Tayfur. S., Ozen.H., & Aksoy. A. (2007), « Investigation of rutting performance of asphalt mixtures containing polymer modifiers ». *Construction and Building Materials*. 21, 328-337.
- [15] Di Benedetto, H., & Corté, J.F. (2004). « Matériaux routiers bitumineux 1 » : description et propriétés des constituants (1ère édition). Paris : Hermes Science.
- [16] Di Benedetto, H., & Corté, J.F. (2005). *Matériaux routiers bitumineux 2 : constitution et propriétés thermomécaniques des mélanges*, 1ère éd. Paris: Hermes Science.
- [17] Lamothe, S. (2004). « Influence du dosage en filler et de l'ajout d'un sable roulé sur le couple ouvrabilité-orniérage », Mémoire de maîtrise en génie de la construction, École de Technologie supérieure, Montréal, Canada).
- [18] Lamothe, S. (2014). « Endommagement d'un enrobé bitumineux partiellement saturé en eau ou en saumure soumis à des sollicitations cycliques de gel-dégel et mécaniques ». Thèse de doctorat en génie de la construction, École de technologie supérieures, Montréal, Canada.